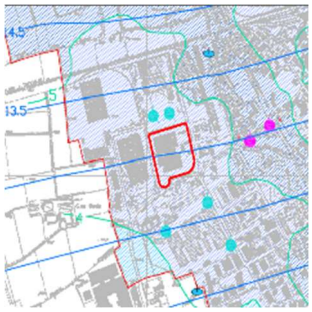
GEOREM SRL – SOCIO UNICO
SEDE LEGALE: VIA DEI MARTIRI PARTIGIANI 66 – 27049 STRADELLA (PV)
SEDE OPERATIVA: VIA GIORDANO BRUNO 17 – 27043 BRONI (PV)
+39 0385 459992 MAIL INFO@GEOREMSERVICE.COM PEC GEOREM@PEC.IT
PI/CF IT 02934570181 REA PV – 312196

MELZO (MI)



RISPOSTA SISMICA LOCALE III LIVELLO NTC2018

STACK MIL 09
VIA MARCO POLO 2, MELZO (MI)

Committente:

L22

Simone Scarabelli 23.03.2026 19:24:08 GMT+01:00

Lombardini22 S.p.A.

Via Lombardini 22 20143 Milano, Italia

ORDINE DEI GEOLOGI della LOMBARDIA
SIMONE SCARABELLI
geologo specialista
Albo n. 1372 AP
sezione A

CODICE IDENTIFICATIVO																				NOTE
CONTENUTO													FASE	ATTIVITA'		TIPO		PROG		
R	S	L	-	G	E	O	-	M	I	-	F	1	1	4	P	G	F	0	2	C	O	N	0	0	1	

REVISIONE	DATA	AGGIORNAMENTI	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
REV.0	05/03/2026		K. Adedze	S. Scarabelli	S. Scarabelli
REV.1					

Sommario

1. PREMESSA 5
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO 7
3. BIBLIOGRAFIA 8
4. SOFTWARE 9
5. CAMPAGNA D'INDAGINE GEOGNOSTICA 10
5.1 STRATIGRAFIA DI RIFERIMENTO 11
6. SISMICITÀ 12
6.1 Aspetti normativi e metodologici regionali 12
6.2 Zona sismica 14
6.3 CPTI15-DBMI15 V 4.0 24
6.4 Risultati della prova geofisica Down-hole 31
6.4.1 Risultati della prova down-hole nel foro del sondaggio S3-DH 31
6.4.2 Risultati della prova down-hole nel foro del sondaggio S8-DH 36
6.5 Risultati della prova geofisica MASW 41
6.6 Risultati della prova geofisica HVSR 44
6.7 Valutazione della suscettibilta' sismica dell'area 47
6.8 Categoria di sottosuolo 50
6.9 Categoria topografica 52
7. RISPOSTA SISMICA LOCALE DI TERZO LIVELLO 54
7.1 Calcolo della risposta sismica locale 54
7.1.1 Stratigrafia sismografica di riferimento 54
7.1.2 Accelerazione di base a(g) 60
7.1.3 Dati di disaggregazione 61
7.1.3.1 Stato limite SLO 62
7.1.3.2 Stato limite SLD 63
7.1.3.3 Stato limite SLV 64
7.1.3.4 Stato limite SLC 65
7.1.4 Estrazione accelerogrammi di input 66
7.1.4.1 Stato limite SLO 67
7.1.4.2 Stato limite SLD 67
7.1.4.3 Stato limite SLV 68
7.1.4.4 Stato limite SLC 68
7.1.5 Procedura di calcolo 69

7.1.6 Valutazione della risposta sismica locale 78
7.2 Risultati della Risposta Sismica Locale 79
7.2.7 Dati generali 79
7.2.8 Modello realizzato con gli 7 accelerogrammi allo SLO 85
7.2.9 Modello realizzato con gli 7 accelerogrammi allo SLD 99
7.2.10 Modello realizzato con gli 7 accelerogrammi allo SLV 113
7.2.11 Modello realizzato con gli 7 accelerogrammi allo SLC 127
8. CONCLUSIONI 141

1. PREMESSA

La presente relazione contiene le risultanze delle indagini geofisiche eseguite e l'analisi della risposta sismica locale (analisi sismica di III livello) per un sito ubicato in comune di MELZO (MI) presso il quale è in progetto la realizzazione di una nuova edificazione.

La Risposta Sismica Locale è la valutazione dell'azione sismica di progetto deve essere svolta in maniera rigorosa in accordo con quanto riportato anche dalle NTC2018 al cap.3.2.2, dove viene esplicitamente detto che: "Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valutamediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3…".

In assenza di tali analisi, per determinati assetti sismostratigrafici, è possibile stimare l'azione sismica con l'approccio semplificato che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento.

Visto il carattere strategico dell'opera in progetto si è proceduto ad effettuare delle specifiche analisi sismiche e alla valutazione della Risposta Sismica Locale.

L'esecuzione di una Risposta Sismica Locale consente di ottenere una valutazione dell'amplificazione locale più rigorosa dell'approccio semplificato.

I punti fondamentali nella stima dell'azione sismica, sulla base di specifiche analisi di RSL, possono essere così schematizzati:

- definizione dell'input sismico rappresentativo dell'azione sismica al tetto del bedrock sismico, da dove si presume che inizi l'amplificazione locale;
- determinazione di un adeguato modello geologico e parametrizzazione degli strati individuati;
- analisi;
- scelta e rappresentazione dei parametri di output.

Si riporta nella pagina seguente la foto satellitare con l'ubicazione dell'area oggetto di intervento.

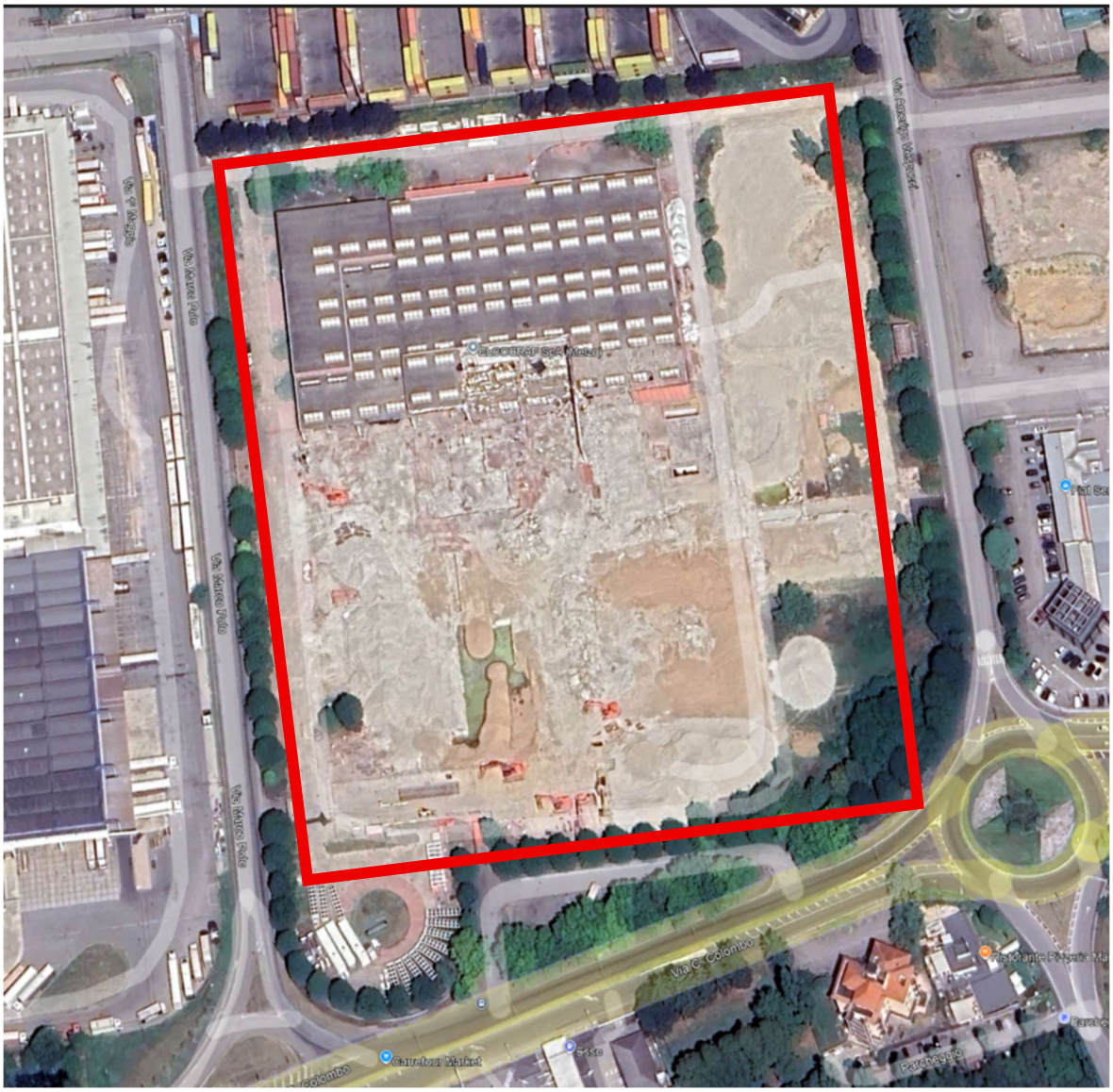


Figura 1 - Area di Studio

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- OPCM n. 3274 del 20 marzo 2003 “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”.

- D.d.u.o. n. 19940 del 21 novembre 2003 “Approvazione elenco tipologie degli edifici e opere infrastrutturali e programma temporale delle verifiche di cui all’art. 2, commi 3 e 4 dell’ordinanza p.c.m. n. 3274 del 20 marzo 2003, in attuazione della d.g.r. n. 14964 del 7 novembre 2003”.

- D.G.R. 28.05.2008 n. 8/7374 – Aggiornamento dei “Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell’art. 57 della L.R. 11.03.2005 n. 12”,

- D.M.17/01/2018 Contenente le Nuove Norme Tecniche per le costruzioni (NTC 2018)

3. BIBLIOGRAFIA

- Idriss I.M. and Sun J.I., 1992. SHAKE91 – a computer program for conducting equivalent linear seismic response analyses of horizontally layered soils deposits. University of California, Davis.
- Sabetta F. and Pugliese A, 1996. Estimation of response spectra and simulation of nonstationary earthquake ground motions. Bull. Seism. Soc. Am., 86, 337-352.

4. SOFTWARE

Per la definizione dell'azione sismica di progetto è stata svolta la valutazione della Risposta Sismica Locale riferita al terreno di fondazione della nuova edificazione.

I software usati sono:

- Rexel V.3.5 – REXEL: computer aided record selection for code-based seismic structural analysis - Iunio Iervolino · Carmine Galasso · Edoardo Cosenza
- RSL III- Geostru

5. CAMPAGNA D'INDAGINE GEOGNOSTICA

E' stata effettuata una campagna di indagine al fine della caratterizzazione geologica e geotecnica, composta dalle seguenti indagini:

- N.8 sondaggi a carotaggio continuo denominati S1, S2, S3-DH, S4, S5, S6, S7-PZ e S8-DH spinti fino alla profondità di 35,0m;
- N°184 esecuzione delle prove penetrometriche dinamiche SPT nel foro dei sondaggi
- N°14 prove penetrometriche dinamiche DPSH spinti ino alla profondità di circa 15,0 m;
- N°1 piezometro installato nel sondaggio S7;
- N°2 prove geofisiche Down-hole eseguite nel foro dei sondaggi S3 e S8
- N°1 prova geofisica MASW;
- N°1 prova geofisica HVSR.
-

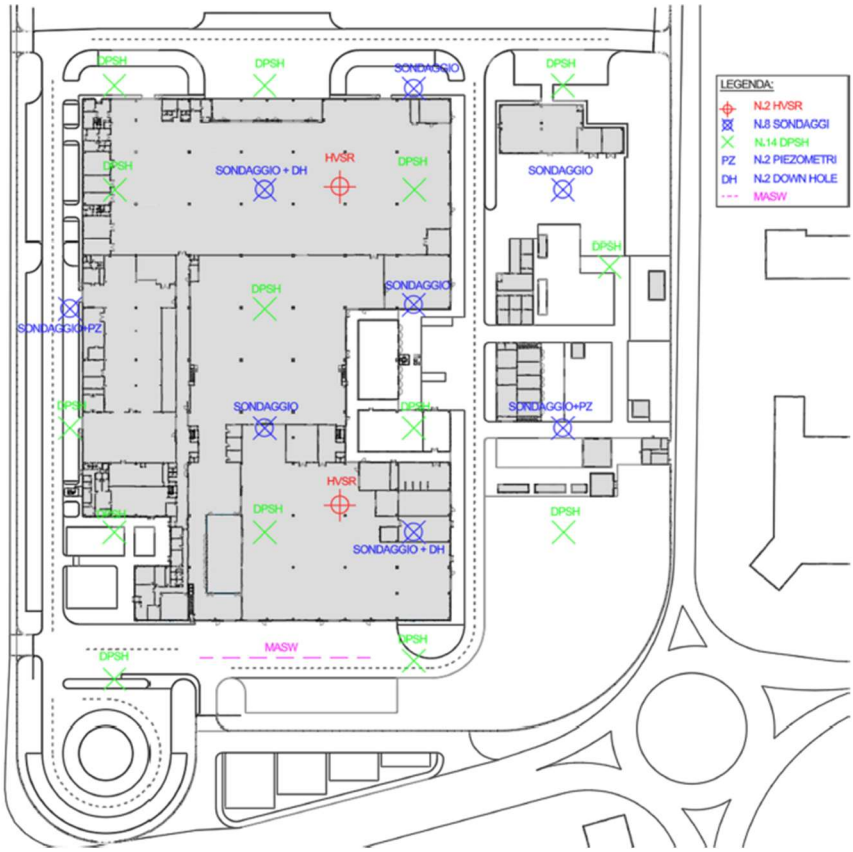


Figura 2 - Ubicazione delle indagini geognostiche presso l'area di studio.

5.1 STRATIGRAFIA DI RIFERIMENTO

Di seguito si riporta la stratigrafia generale dei terreni presenti nell'area di studio.

Strato	Profondità [m]	Litologia
1	0,0-1,80	Riporto antropico
2	1,8 – 5,0	Limo argilloso-sabbioso di colore nocciola
3	5,0 – 15,6	Ghiaia eterometrica
4	15,6 – 19,0	Sabbia prevalentemente grossolana ghiaiosa a fine limosa
5	19,0 – 35,0	Ghiaia eterometrica poligenica con sabbia e locali ciottoli

La falda è stata riscontrata a profondità -3,0 mt dal piano campagna durante l'esecuzione delle prove in sito.

6. SISMICITÀ

6.1 ASPETTI NORMATIVI E METODOLOGICI REGIONALI

Allegato 5 alla D.G.R. n. 8/7374/2008 aggiornato con la D.G.R. n. IX/2616/2011:

Con la pubblicazione sul B.U.R.L. del 19 gennaio 2006, 3° supplemento straordinario, della D.G.R. n. 8/1566 del 22 dicembre 2005 "Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della Legge Regionale 11 marzo 2005 n. 12", la Regione Lombardia ha definito le linee guida e le procedure operative per la valutazione degli effetti sismici di sito a cui uniformarsi nella definizione del rischio sismico locale, successivamente aggiornate con la D.G.R. n. 8/7374 del 28 maggio 2008 "Aggiornamento dei Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della Legge Regionale 11 marzo 2005 n. 12 approvati con D.G.R. 22/05n. 8/1566"pubblicata sul B.U.R.L. del 12 giugno 2008, 2° supplemento straordinario al n° 24, a seguito delle avvenute modifiche in materia di norme tecniche sulle costruzioni (D.M. 14 gennaio 2008).

Secondo le direttive regionali di recente emanazione, l'analisi della sismicità del territorio in termini di valutazione dell'amplificazione sismica locale deve seguire le metodologie dell'Allegato 5 alla recente D.G.R. n. 8/7374/2008, che prevedono tre diversi livelli di approfondimento in funzione della zona sismica di appartenenza (1° livello, 2° livello, 3° livello).

Secondo le direttive regionali di recente emanazione, l'analisi della sismicità del territorio in termini di valutazione dell'amplificazione sismica locale deve seguire le metodologie dell'Allegato 5 alla recente D.G.R. n. 8/7374/2008, che prevedono tre diversi livelli di approfondimento in funzione della zona sismica di appartenenza (1° livello, 2° livello, 3° livello).

Per l'individuazione degli scenari di pericolosità sismica locale si è fatto riferimento alla Tabella 1 di cui all'Allegato 5 alla D.G.R. n. 8/7374/2008 aggiornato con **D.G.R. n. IX/2616/2011** di seguito riportata.

Scenari di pericolosità sismica locale e relativi effetti

Sigla	SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	EFFETTI
Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	Instabilità
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	
Z1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana	
Z2a	Zone con terreni di fondazione saturi particolarmente scadenti (riporti poco addensati, depositi altamente compressibili, ecc.)	Cedimenti
Z2b	Zone con depositi granulari fini saturi	Liquefazioni
Z3a	Zona di ciglio H > 10 m (scarpata, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, ecc.)	Amplificazioni topografiche
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite - arrotondate	
Z4a	Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	Amplificazioni litologiche e geometriche
Z4b	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre	
Z4c	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)	
Z4d	Zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	
Z5	Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse	Comportamenti differenziali

Figura 3- Scenari di pericolosità sismica locale - Tabella 1 allegato 5 della DGR IX/2616

L'area oggetto di intervento è classificata come Z4a.

6.2 ZONA SISMICA

Secondo l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003, aggiornata con la Delibera della Giunta Regionale della Lombardia dell'11 luglio 2014 n.2129 entrata in vigore il 10 aprile 2016, il territorio di **Melzo (MI)** è classificato in **zona sismica 3**.

Zona sismica 3	Zona con pericolosità sismica bassa, che può essere soggetta a scuotimenti modesti.
AgMax 0,074138	Accelerazione massima presente all'interno del territorio comunale.

I criteri per l'aggiornamento della mappa di pericolosità sismica sono stati definiti nell'Ordinanza del PCM n. 3519/2006, che ha suddiviso l'intero territorio nazionale in quattro zone sismiche sulla base del valore dell'accelerazione orizzontale massima (ag) su suolo rigido o pianeggiante, che ha una probabilità del 10% di essere superata in 50 anni.

Zona sismica	*Descrizione*	*accelerazione con probabilità di superamento del 10% in 50 anni [ag]*	*accelerazione orizzontale massima convenzionale (Norme Tecniche) [ag]*	*numero comuni con territori ricadenti nella zona (*)*
1	Indica la zona più pericolosa, dove possono verificarsi fortissimi terremoti.	$a_g > 0,25$ g	0,35 g	703
2	Zona dove possono verificarsi forti terremoti.	$0,15 < a_g \leq 0,25$ g	0,25 g	2.224
3	Zona che può essere soggetta a forti terremoti ma rari.	$0,05 < a_g \leq 0,15$ g	0,15 g	3.002
4	E' la zona meno pericolosa, dove i terremoti sono rari ed è facoltà delle Regioni prescrivere l'obbligo della progettazione antisismica.	$a_g \leq 0,05$ g	0,05 g	1.982

Figura 4 - zone sismiche in cui è stato diviso il territorio nazionale secondo l'Ordinanza del PCM n. 3519/2006

La figura seguente mostra la mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale, successivamente è riportata l'immagine dell'area di interesse e l'accelerazione al suolo con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni del comune di Melzo pari **a PGA = 0.050g – 0,075g**, valore caratteristico della **zona sismica di tipo 3**.

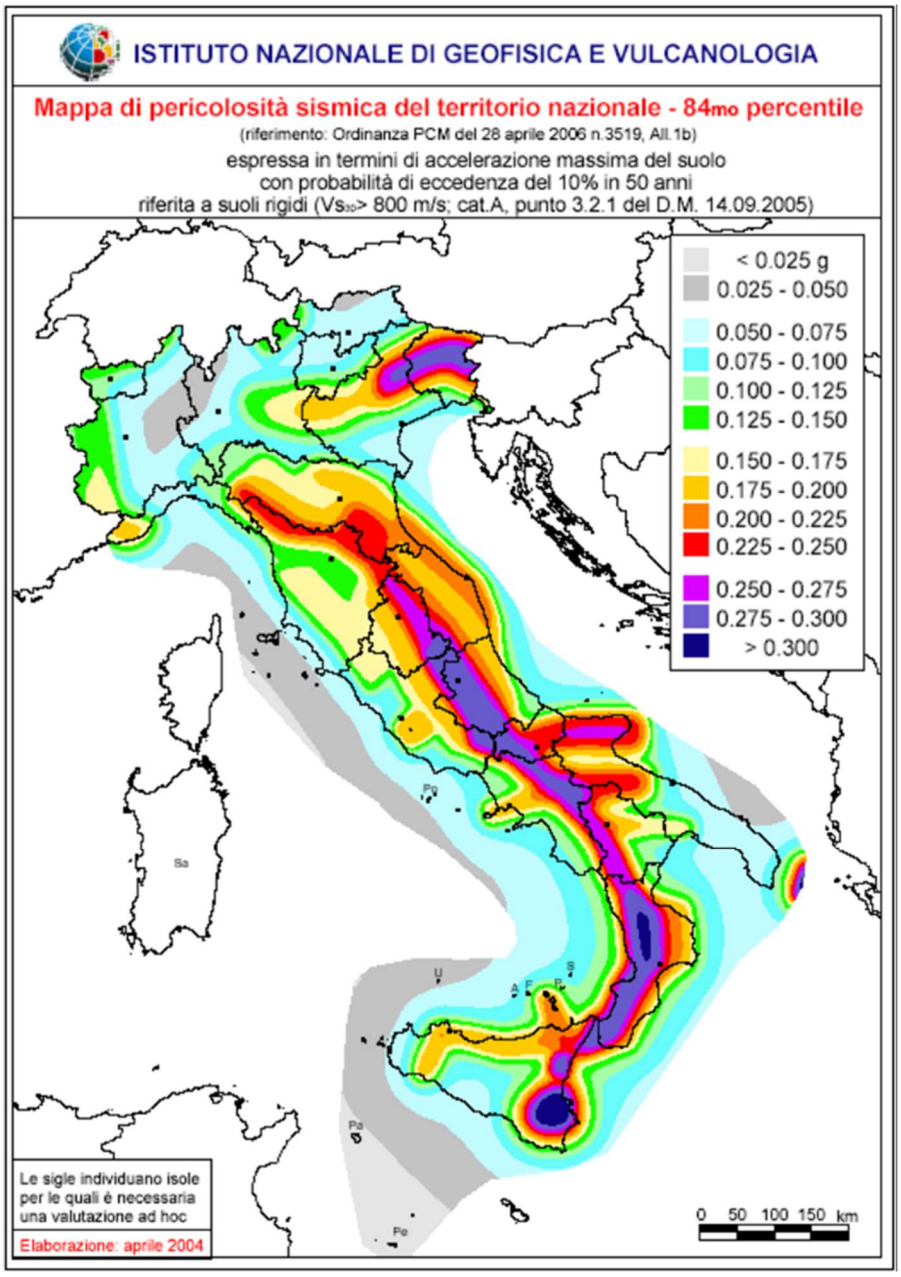


Figura 5 - All.1b dell'Ordinanza PCM 3598 del 28/04/2006 - Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale in cui l'accelerazione massima del suolo viene espressa con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni.

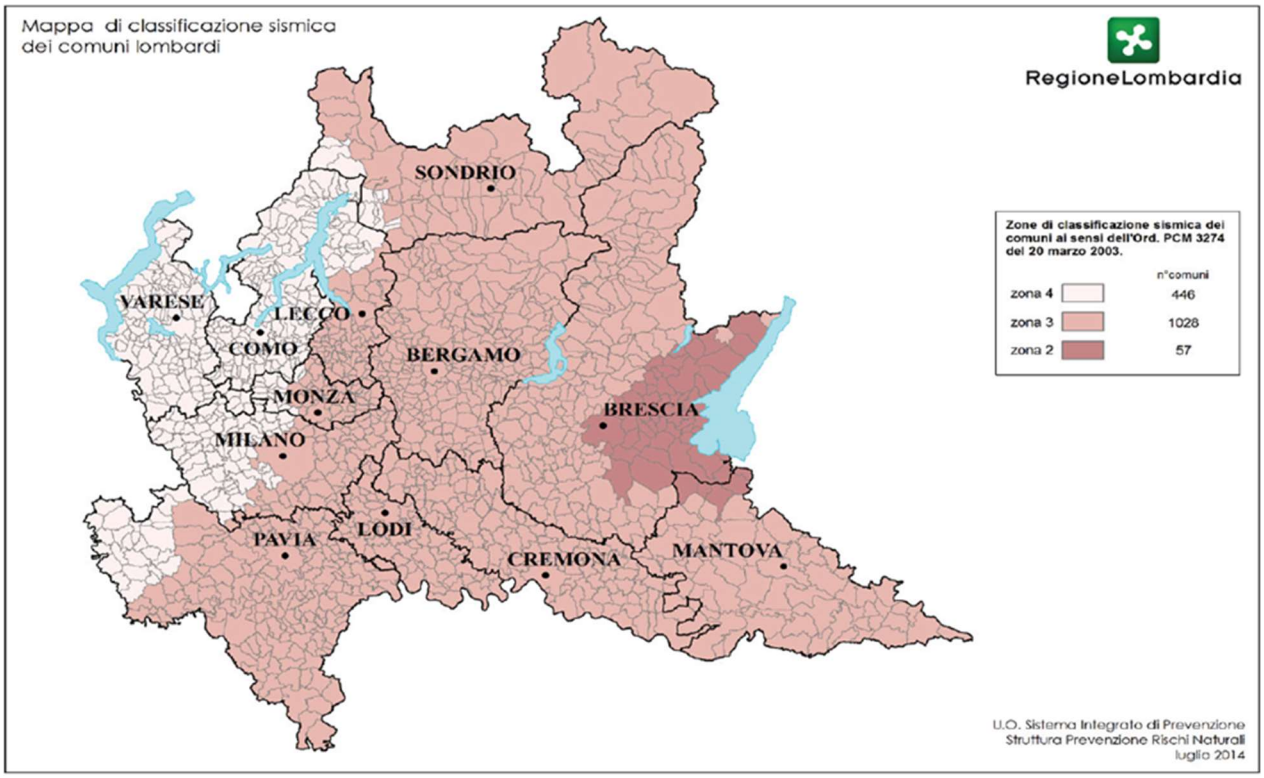
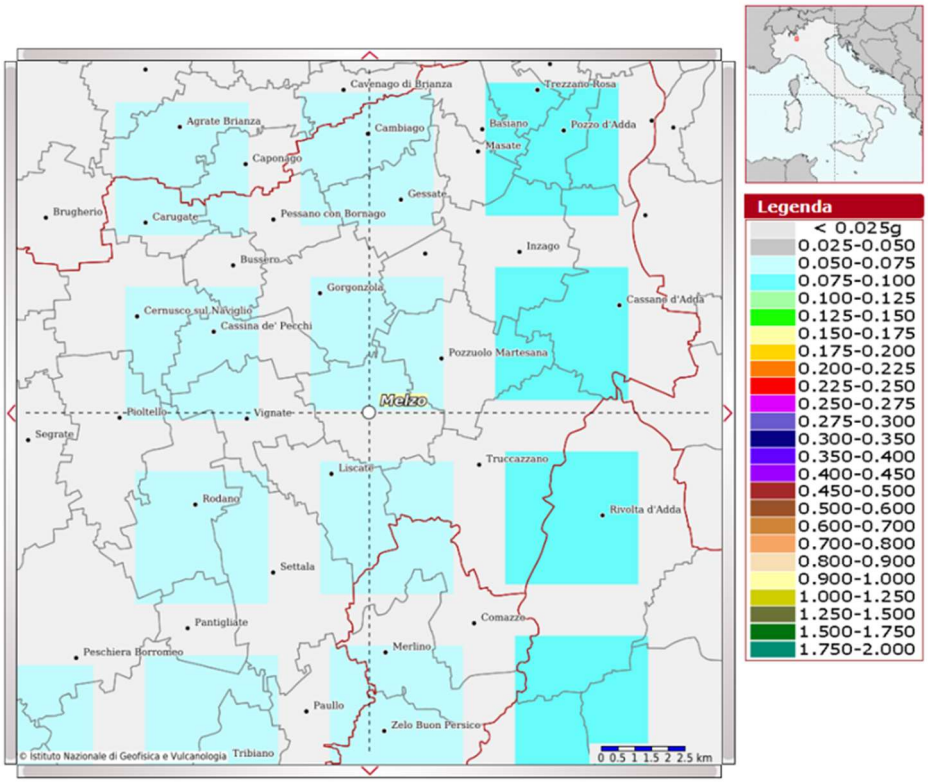


Figura 6 - Classificazione sismica dei comuni della Lombardia a seguito DGR n.X/2129/2014 (Delibera Regionale del 11 Luglio 2014)

In base all'Ordinanza PCM del 28 aprile 2006, sono state definite sulla base di più approfonditi studi, le zone di pericolosità sismica per il territorio nazionale ed è stata definita la mappa di pericolosità sismica MPSO4, espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi (Vs30>800 m/s e TR= 475anni).

Le figure seguenti mostrano la disaggregazione per l'area oggetto di studio della stima di PGA (Peak Ground Acceleration) con il 10% di probabilità di eccedenza in 50 anni, corrispondente ad un periodo di ritorno di 475 anni. Il grafico è una elaborazione che mostra il contributo delle sorgenti sismogenetiche alla pericolosità sismica di un certo sito: le sorgenti vengono discretizzate per intervalli di spazio e magnitudo.



Informazioni sul nodo con ID: 12042 - Latitudine: 45.517 - Longitudine: 9.427

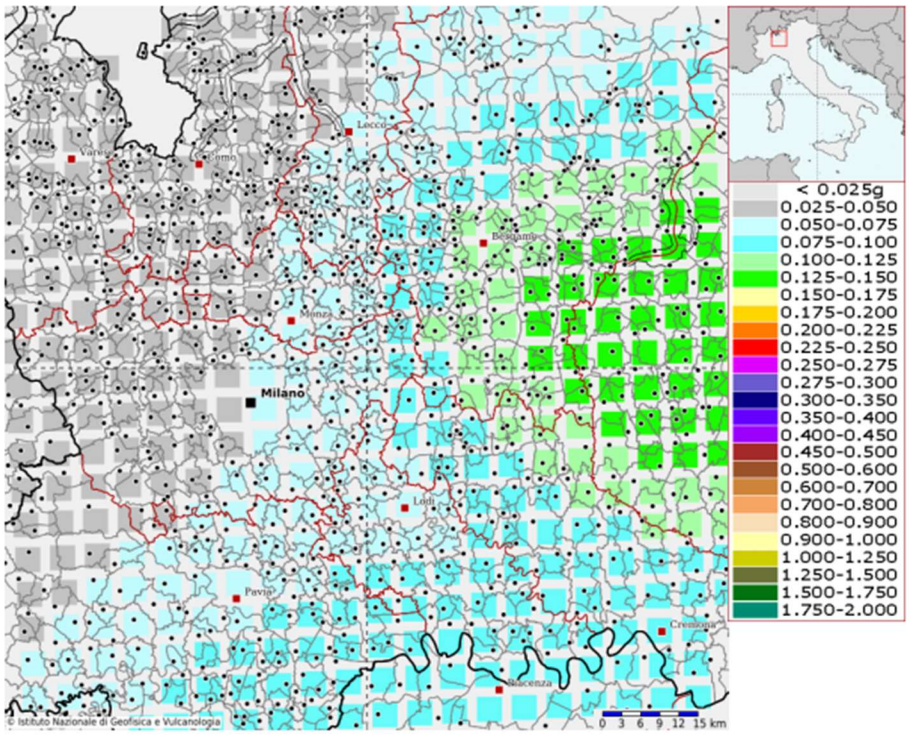


Figura 7 - INGV - Mappa della pericolosità sismica del territorio nazionale – Comune di Melzo (MI)

La mappa rappresenta il modello di pericolosità sismica per l'Italia e i diversi colori indicano il valore di scuotimento (PGA = Peak Ground Acceleration; accelerazione di picco del suolo, espressa in termini di g, l'accelerazione di gravità) atteso con una probabilità di eccedenza pari al 10% in 50 anni su suolo rigido (classe A, Vs30 > 800 m/s) e pianeggiante. Le coordinate selezionate individuano un nodo della griglia di calcolo identificato con l'I D **12042** (posto al centro della mappa). Per ogni nodo della griglia sono disponibili numerosi parametri che descrivono la pericolosità sismica, riferita a diversi periodi di ritorno e diverse accelerazioni spettrali.

Grafico di disaggregazione

Il grafico rappresenta il contributo percentuale delle possibili coppie di valori di magnitudo-distanza epicentrale alla pericolosità del nodo, rappresentata in questo caso dal valore della PGA mediana, per una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni. La tabella riporta i valori mostrati nel grafico ed i valori medi di magnitudo, distanza ed epsilon.

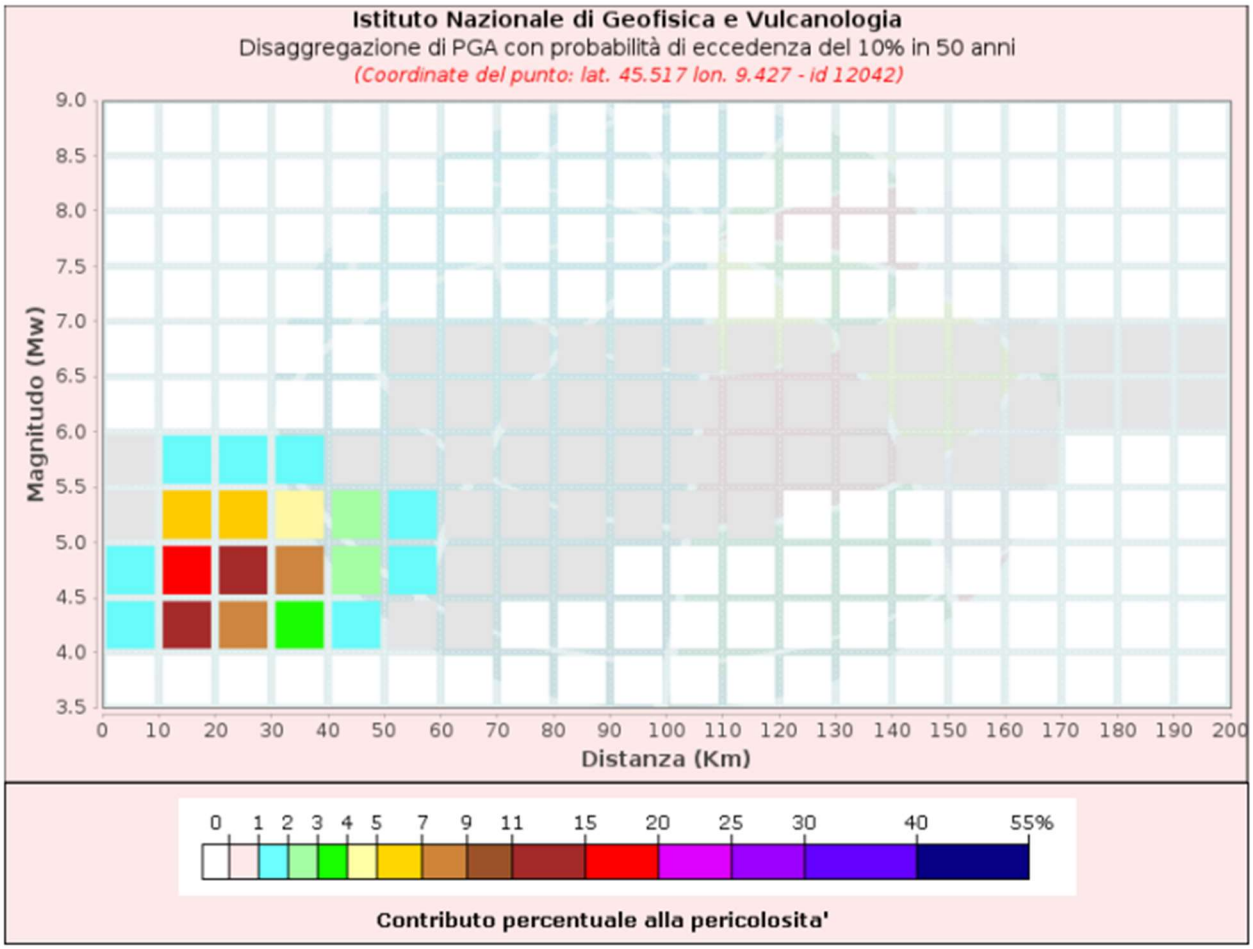


Figura 8 - Disaggregazione del valore a(g) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (INGV).

Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni

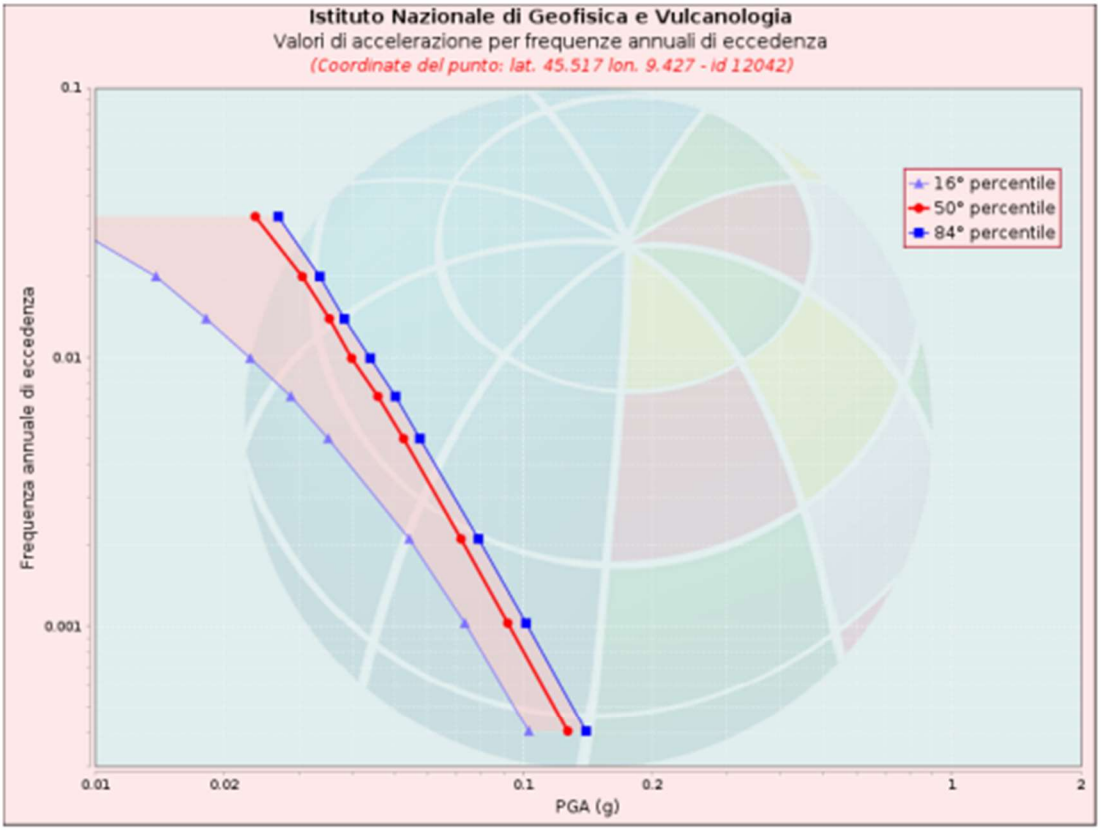
Distanza	Magnitudo									
in Km	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.0000	1.5900	1.7900	0.4750	0.0931	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	12.9000	17.1000	5.7600	1.3500	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	7.7700	12.8000	5.8100	1.7200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	3.4600	7.0600	4.1800	1.4000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	1.0800	2.9400	2.2500	0.8350	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.1910	1.0300	1.0900	0.4630	0.0121	0.0018	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0023	0.2980	0.6030	0.4000	0.1800	0.0279	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0608	0.3400	0.3430	0.2220	0.0367	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0049	0.1940	0.3220	0.2060	0.0361	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0771	0.2490	0.1800	0.0336	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0200	0.1600	0.1630	0.0333	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0032	0.0828	0.1280	0.0286	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0477	0.0906	0.0206	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0251	0.0626	0.0143	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0093	0.0376	0.0097	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0026	0.0189	0.0059	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0104	0.0039	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0064	0.0025	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0053	0.0016	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0066	0.0031	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Valori Medi: magnitudo = 4.83 ; distanza = 27.2 ; epsilon = 1.07

Figura 9 - Disaggregazione del valore a(g) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (INGV).

Curva di pericolosità

La pericolosità è l'insieme dei valori di scuotimento (in questo caso per la PGA) per diverse frequenze annuali di eccedenza (valore inverso del periodo di ritorno). La tabella riporta i valori mostrati nel grafico, relativi al valore mediano (50mo percentile) ed incertezza, espressa attraverso il 16° e l'84° percentile.

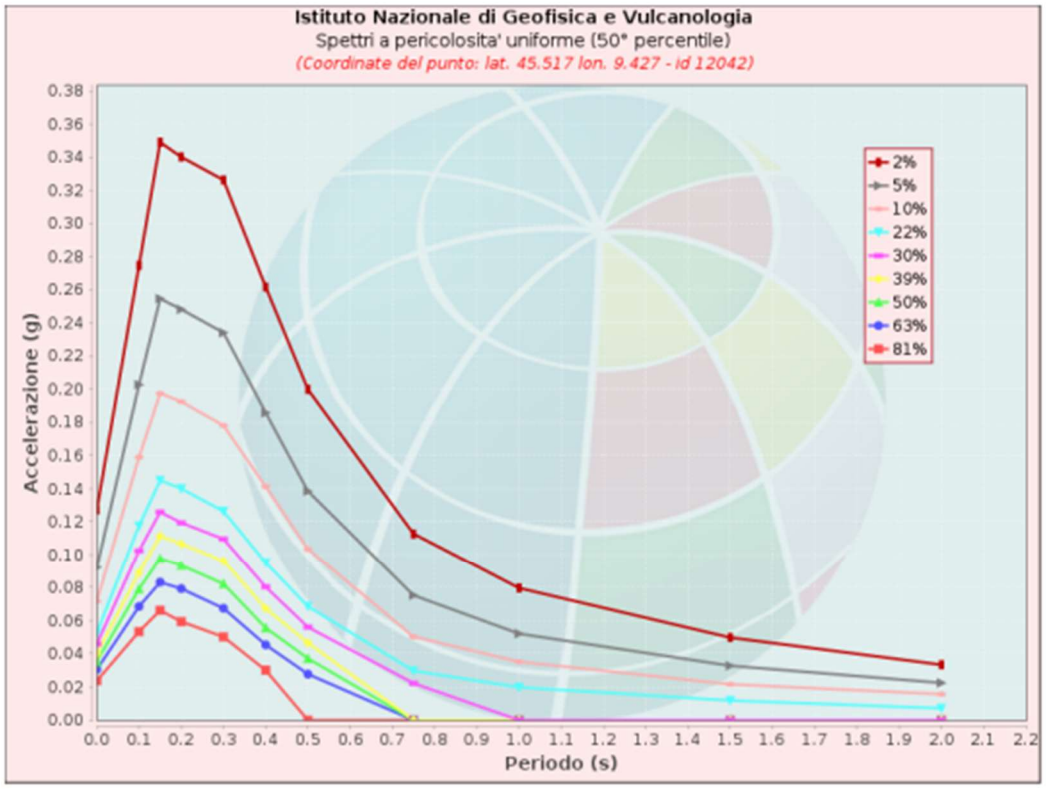


Valori di accelerazione per frequenze annuali di eccedenza			
Frequenza annuale di ecc.	PGA (g)		
	16° percentile	50° percentile	84° percentile
0.0004	0.103	0.127	0.140
0.0010	0.073	0.092	0.102
0.0021	0.054	0.072	0.079
0.0050	0.035	0.053	0.057
0.0071	0.029	0.046	0.050
0.0099	0.023	0.040	0.044
0.0139	0.018	0.035	0.038
0.0199	0.014	0.031	0.034
0.0332	0.008	0.024	0.027

Figura 10 - Curve di pericolosità

Spettri a pericolosità uniforme

Gli spettri indicano i valori di scuotimento calcolati per 11 periodi spettrali, compresi tra 0 e 2 secondi. La PGA corrisponde al periodo pari a 0 secondi. Il grafico è relativo alle stime mediane (50mo percentile) proposte dal modello di pericolosità. I diversi spettri nel grafico sono relativi a diverse probabilità di eccedenza (PoE) in 50 anni. La tabella riporta i valori mostrati nel grafico.



Spettri a pericolosita' uniforme (50° percentile)											
PoE	Accelerazione (g)										
in 50	Periodo (s)										
anni	0.0	0.1	0.15	0.2	0.3	0.4	0.5	0.75	1.0	1.5	2.0
2%	0.127	0.275	0.349	0.340	0.326	0.262	0.200	0.113	0.080	0.050	0.033
5%	0.092	0.203	0.255	0.248	0.234	0.186	0.139	0.075	0.052	0.033	0.022
10%	0.072	0.159	0.198	0.193	0.178	0.141	0.103	0.050	0.035	0.022	0.016
22%	0.053	0.118	0.145	0.140	0.126	0.095	0.069	0.030	0.020	0.012	0.007
30%	0.046	0.102	0.126	0.119	0.109	0.080	0.056	0.022	0.000	0.000	0.000
39%	0.040	0.089	0.111	0.107	0.096	0.067	0.047	0.000	0.000	0.000	0.000
50%	0.035	0.079	0.098	0.093	0.082	0.056	0.037	0.000	0.000	0.000	0.000
63%	0.031	0.068	0.083	0.079	0.067	0.045	0.028	0.000	0.000	0.000	0.000
81%	0.024	0.053	0.066	0.059	0.050	0.030	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Figura 11 - Spettri a pericolosità uniforme

Si riporta di seguito la carta delle zone sismogenetiche ZS9 dell'Italia

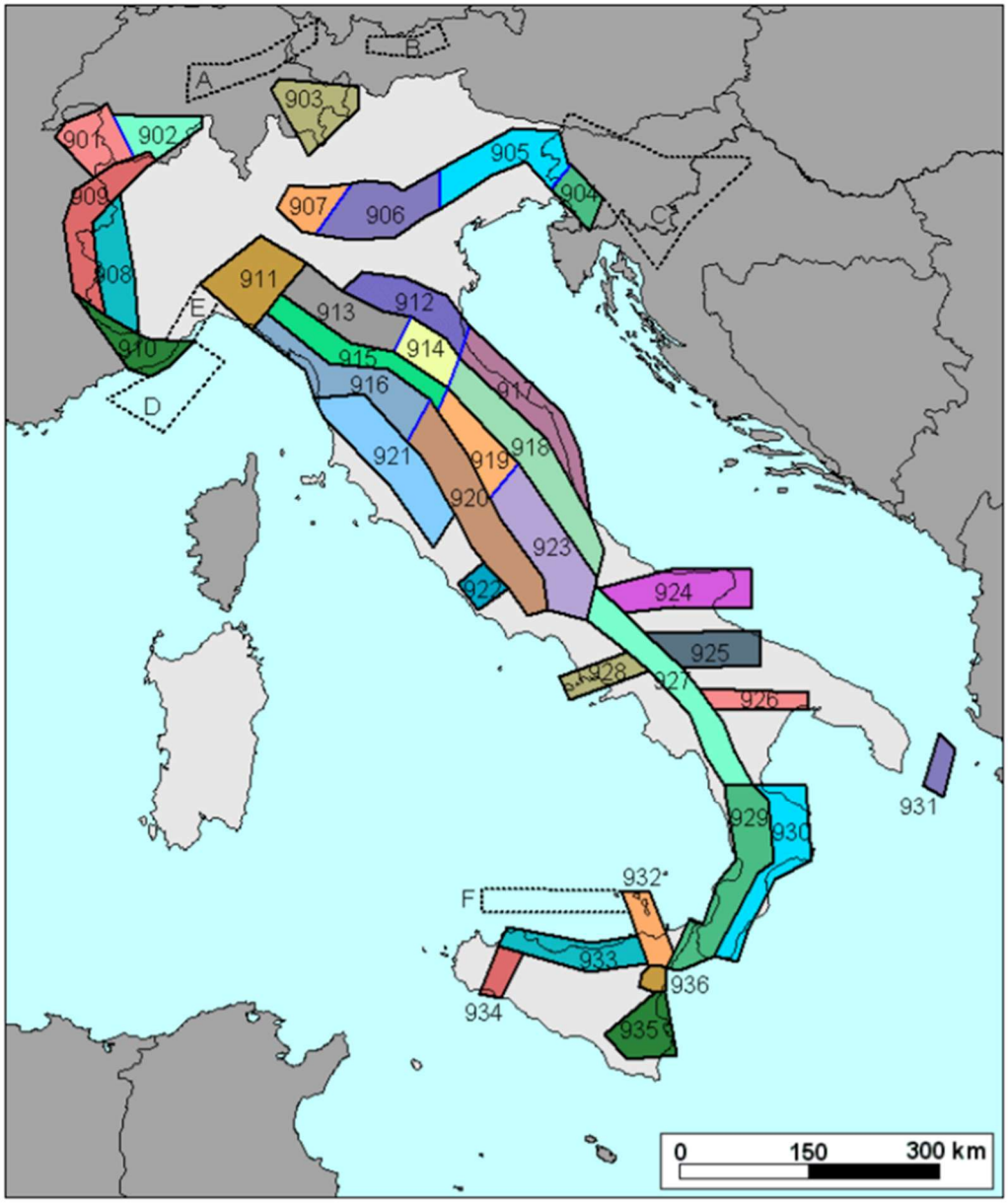


Figura 12 - sismogenetica ZS9

Figura 13 - zonazione sismogenetica ZS9, dove l'area d'interesse è evidenziata da un cerchio verde

Come è possibile vedere alla figura precedente, l'area oggetto d'interesse non ricade all'interno di nessuna zona della zonazione sismogenetica ZS9 (Meletti et al. 2008), utilizzata per la compilazione della mappa di pericolosità sismica MPS04.

Per il calcolo sismico si considera la magnitudo calcolata dalla disaggregazione pari a 4,83.

6.3 CPTI15-DBMI15 V 4.0

CPTI15 V4.0

La nuova versione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI15 rappresenta una significativa evoluzione rispetto alle versioni precedenti, che sono quindi da considerare del tutto superate. Anche se i criteri generali di compilazione e la struttura sono gli stessi della precedente versione CPTI11 (Rovida et al., 2011), il contenuto del catalogo è stato ampiamente rivisto per quanto concerne:

- la copertura temporale, estesa a tutto il 2020
- il database macrosismico di riferimento (DBMI15 versione 4.0; Locati et al., 2022), significativamente aggiornato
- i dati strumentali considerati, nuovi e/o aggiornati
- le soglie di ingresso dei terremoti, abbassate a intensità massima 5 o magnitudo 4.0 (invece di 5-6 e 4.5 rispettivamente)
- la determinazione dei parametri macrosismici, basata su una nuova calibrazione dell'algoritmo Boxer
- le magnitudo strumentali, che comprendono un nuovo set di dati e nuove relazioni di conversione.

Il catalogo copre l'intero territorio italiano con porzioni delle aree e dei mari confinanti (Figura 1), e contiene 4894 terremoti nella finestra temporale 1000-2020. Il catalogo, quindi, considera e armonizza il più possibile dati di base di diverso tipo e provenienza.

La magnitudo utilizzata è la magnitudo momento (Mw) e in tutti i casi è riportata la relativa incertezza. Tutti i dati e i metodi utilizzati sono accuratamente esplicitati nel catalogo per garantire la massima trasparenza possibile nelle procedure di compilazione. Al pari di CPTI11, il catalogo non è stato declusterato e contiene quindi tutti i foreshocks e le repliche disponibili e conosciuti all'interno delle soglie di magnitudo e intensità considerate.

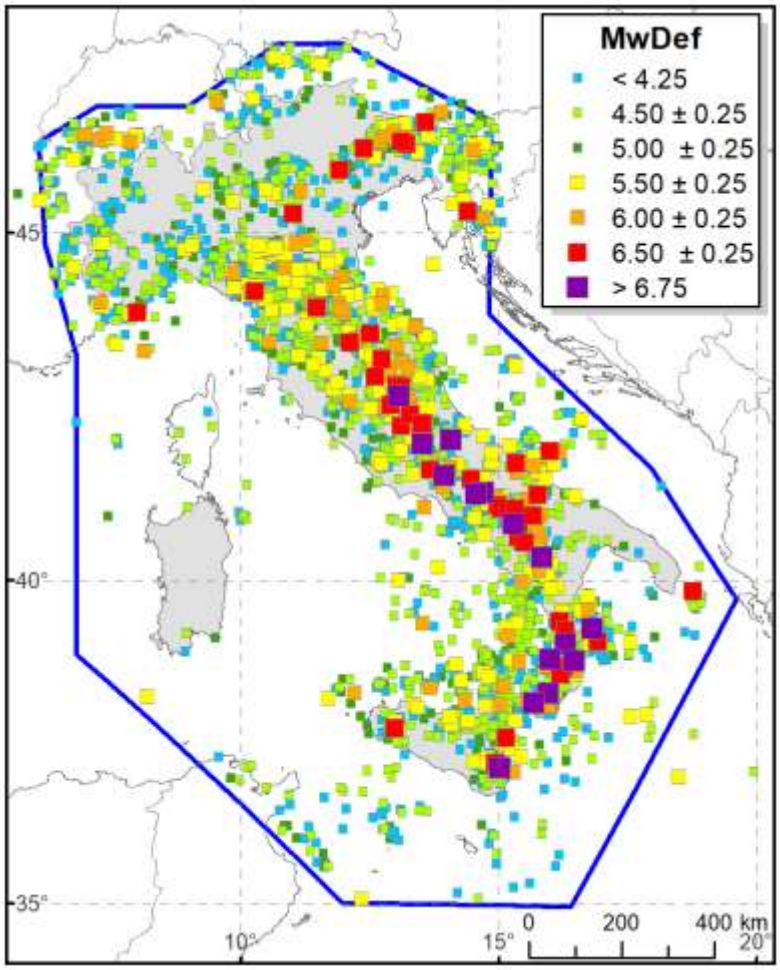


Figura 14 - Distribuzione geografica degli epicentri dei terremoti contenuti in CPTI15 per classi di Mw e limite della copertura spaziale (poligono blu).

Il catalogo include i terremoti con intensità massima o epicentrale maggiore o uguale a 5, insieme a quelli con magnitudo strumentale equivalente (secondo i metodi e le conversioni descritte nel seguito) a Mw 4.0 o superiore. Alcuni terremoti con Mw < 4.0 sono inclusi nel catalogo per le seguenti ragioni:

- per i terremoti dell'area vulcanica dell'Etna, la soglia di magnitudo è Mw 3.0 ma restano inclusi tutti i terremoti con intensità massima e/o epicentrale 5;
- per i terremoti nell'area vulcanica dei Campi Flegrei la soglia di magnitudo è Mw 3.1, corrispondente a intensità epicentrale 5 secondo le conversioni utilizzate;
- i terremoti contenuti in CPTI11 sono stati tutti, tranne alcuni dell'area etnea e gli eventi dimostrati falsi, mantenuti nella nuova versione del catalogo, anche se i nuovi dati o le nuove calibrazioni (o entrambi) hanno portato a stime di Mw < 4.0.

L'attuale versione del catalogo CPTI15 v4.0 consiste i) nell'estensione della copertura temporale della precedente versione 3.0 dalla fine 2019 al 31 dicembre 2020 e ii) nell'aggiornamento dei parametri di alcuni terremoti nel periodo settembre 2018 – dicembre 2019 conseguente alla pubblicazione e inserimento del Bollettino Rivisto dell'ISC (International Seismological Centre) per quel periodo.

Dato il loro stretto legame, DBMI e CPTI sono stati pubblicati insieme e usano una stessa numerazione (DBMI04-CPTI04, DBMI11-CPTI11), ma in due diversi siti web.

CPTI15 è consultabile liberamente all'indirizzo http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15 e attraverso il "web service" dell'Archivio Storico Macrosismico Italiano (ASMI) all'indirizzo https://emidius.mi.ingv.it/ASMI/services/.

CPTI15 è un prodotto scientifico dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) la cui realizzazione ha richiesto anni di lavoro e raccoglie il frutto della ricerca di diversi autori di diversi enti. CPTI15 può essere utilizzato per scopi scientifici, a condizione che la fonte sia sempre citata.

DBMI15 V. 4.0

La versione 4.0 del Database Macrosismico Italiano DBMI15 è stata rilasciata a gennaio 2022 e aggiorna e sostituisce la precedente versione 3.0 (Locati et al., 2021) che venne pubblicata a gennaio 2021. Le variazioni tra la versione 3.0 e la 4.0 sono dettagliate al paragrafo 5 e consistono nell'allungamento della copertura temporale dalla fine del 2019 alla fine del 2020.

DBMI v4.0 fornisce un set di dati di intensità macrosismica relativo ai terremoti italiani aggiornato alla finestra temporale 1000-2020. I dati provengono da studi di autori ed enti diversi, sia italiani che di paesi confinanti (Francia, Svizzera, Austria, Slovenia e Croazia).

I dati di intensità macrosismica (MDP, Macroseismic Data Point) sono raccolti e organizzati da DBMI per diverse finalità. La principale è fornire una base di dati per la determinazione dei parametri epicentrali dei terremoti (localizzazione e stima della magnitudo) per la compilazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI). L'insieme di questi dati consente inoltre di elaborare le "storie sismiche" di migliaia di località italiane (15343 in DBMI15 v4.0), vale a dire l'elenco degli

effetti di avvertimento o di danno, espressi in termini di gradi di intensità macrosismica, osservati nel corso del tempo a causa di terremoti.

Dato il loro stretto legame, DBMI e CPTI sono stati pubblicati insieme e usano una stessa numerazione (DBMI04-CPTI04, DBMI11-CPTI11), ma in due diversi siti web. A partire da DBMI15 e CPTI15 (Rovida et al. 2016) si è deciso di rendere disponibile le due banche dati da un unico sito web generato con una versione aggiornata del software MIDOP (Locati e Cassera 2010) al fine di rendere più semplice e funzionale la consultazione.

DBMI15 contiene 123981 dati di intensità relativi a 3229 terremoti. Come si può vedere dalle figure seguenti, l'incremento numerico dei terremoti con dati di intensità e di osservazioni macrosismiche rispetto alle due precedenti versioni DBMI04 (Stucchi et al. 2007) e DBMI11 (Locati et al., 2011) è elevato.

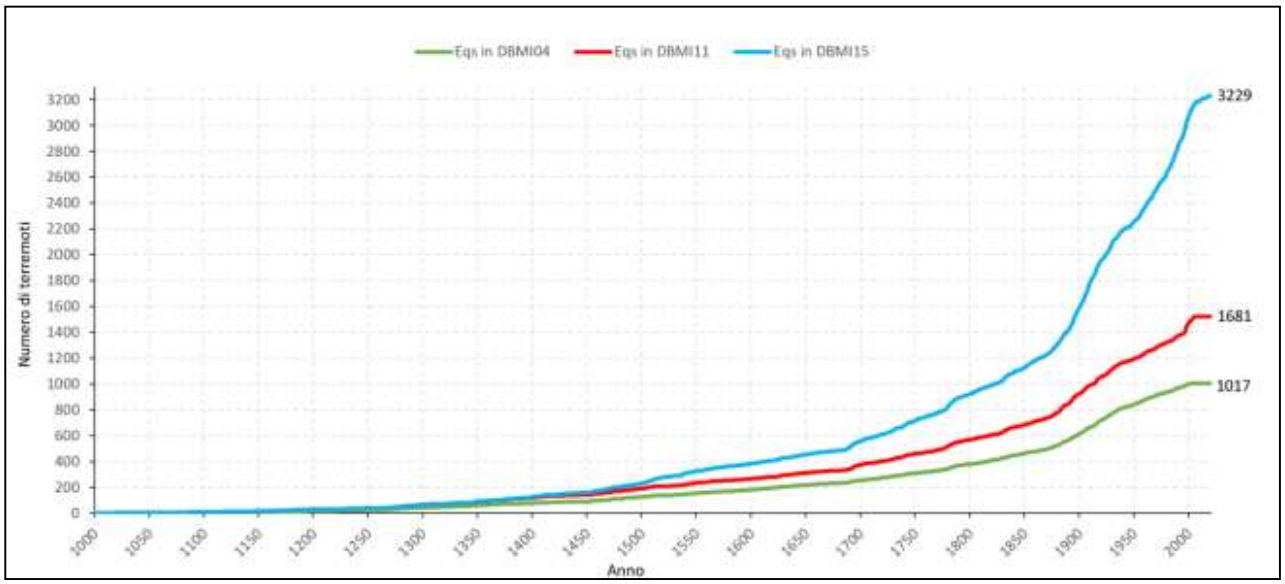


Figura 15 - Confronto dell'andamento nel tempo del numero di terremoti: in verde DBMI04, in rosso DBMI11, e in azzurro DBMI15.

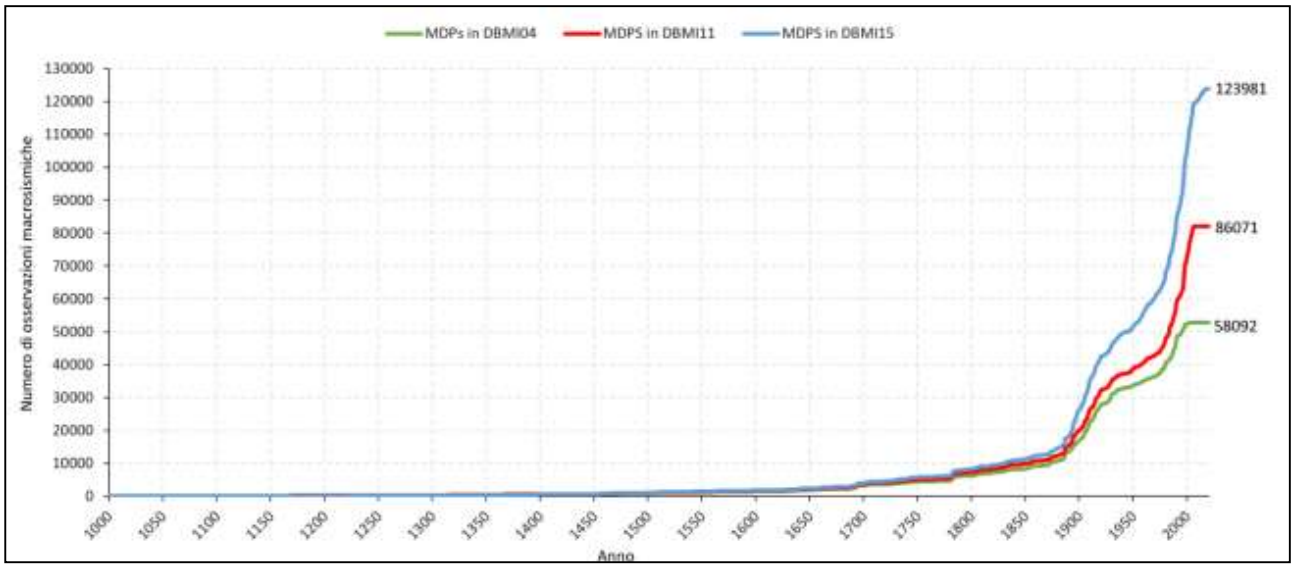


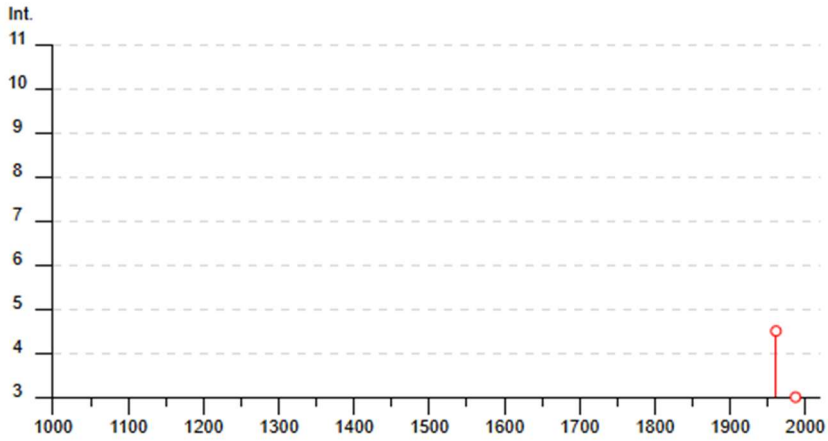
Figura 16 - Confronto dell'andamento nel tempo del numero di MDP (Macroseismic Data Point): in verde DBMI04, in rosso DBMI11, e in azzurro DBMI15.

Di seguito viene riporta la mappa del catalogo CPTI15-DMBI15 desunta dal sito:

https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_eq/

Melzo

PlaceID	IT_13421
Coordinate (lat, lon)	45.499, 9.423
Comune (ISTAT 2015)	Melzo
Provincia	Milano
Regione	Lombardia
Numero di eventi riportati	5



Effetti	In occasione del terremoto del													
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
NF	1905	04	29	01	46	4	Haute-Savoie, Vallorcine	267	7-8	5.10
4-5	1961	11	23	01	12	0	Prealpi bergamasche	119	6-7	4.86
3	1987	05	02	20	43	5	Reggiano	802	6	4.71
NF	2000	08	21	17	14		Monferrato	595	6	4.94
NF	2002	11	13	10	48	0	Franciacorta	768	5	4.21

Località vicine (entro 10km)

Località	EQs	Distanza (km)
Liscate	3	2
Pozzuolo Martesana	3	3
Vignate	4	4
Gorgonzola	11	4
Trecella	1	5
Bellinzago Lombardo	2	5
Cassina de' Pecchi	2	5
Settala	2	6
Bornago	1	6
Bussero	4	6
Gessate	3	6
Inzago	3	6
Pessano con Bornago (Pessano)	2	7
Pioltello	4	7
Comazzo	2	7
Merlino	2	7
Rivolta d'Adda	4	8
Cernusco sul Naviglio	8	8
Cassano d'Adda	4	8
Masate	4	8
Cambiago	6	8
Carugate	2	9
Pantigliate	3	9
Basiano	3	9
Gropello d'Adda	1	9
Paullo	7	9
Cavenago di Brianza	3	10
Zelo Buon Persico	3	10
Segrate	1	10

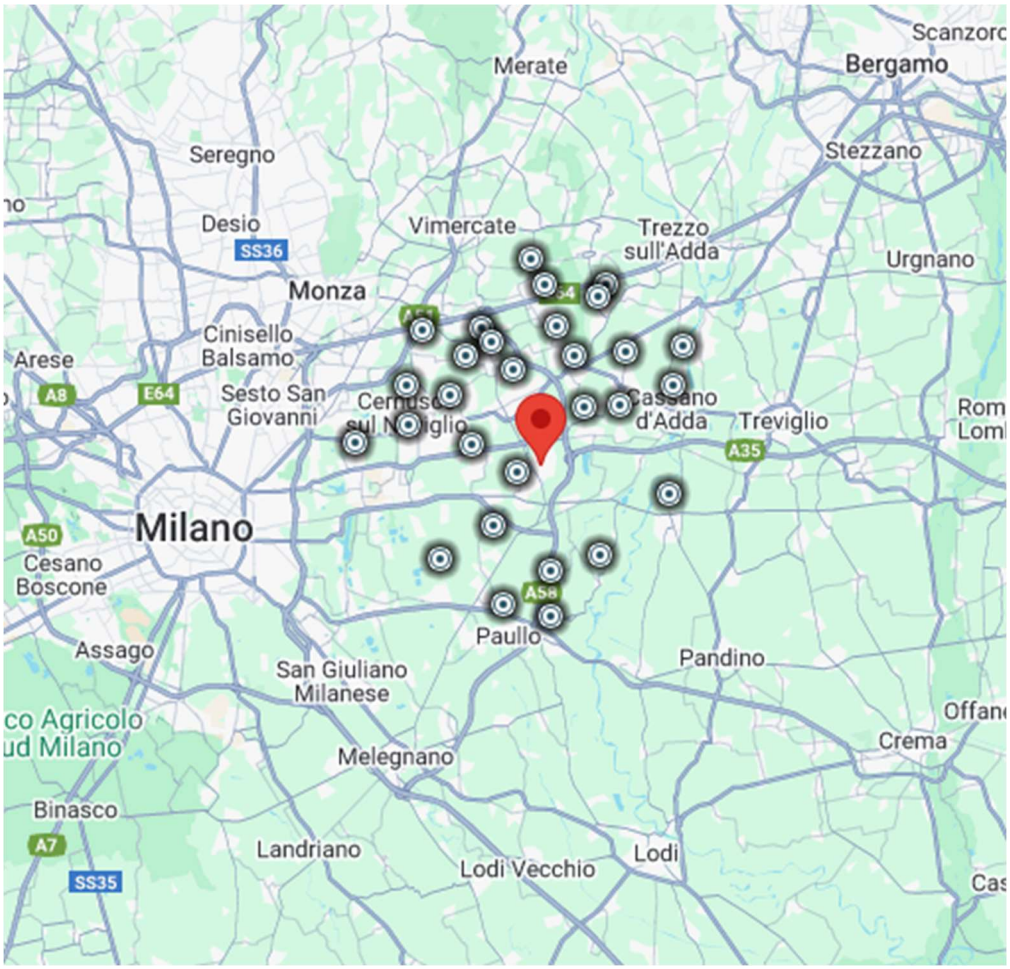


Figura 17 - Dati desunti dalla consultazione del CPTI15 e DBMI15 per l'area di Melzo (MI).

6.4 RISULTATI DELLA PROVA GEOFISICA DOWN-HOLE

6.4.1 RISULTATI DELLA PROVA DOWN-HOLE NEL FORO DEL SONDAGGIO S3-DH

DOWN-HOLE	S3-DH	Data 26/05/2025

Stazione appaltante: Lombardini 22

Località: Melzo (MI)

Oggetto: MILL06

Dispositivo: singolo

Distanza orizzontale dal foro: 1,50 m

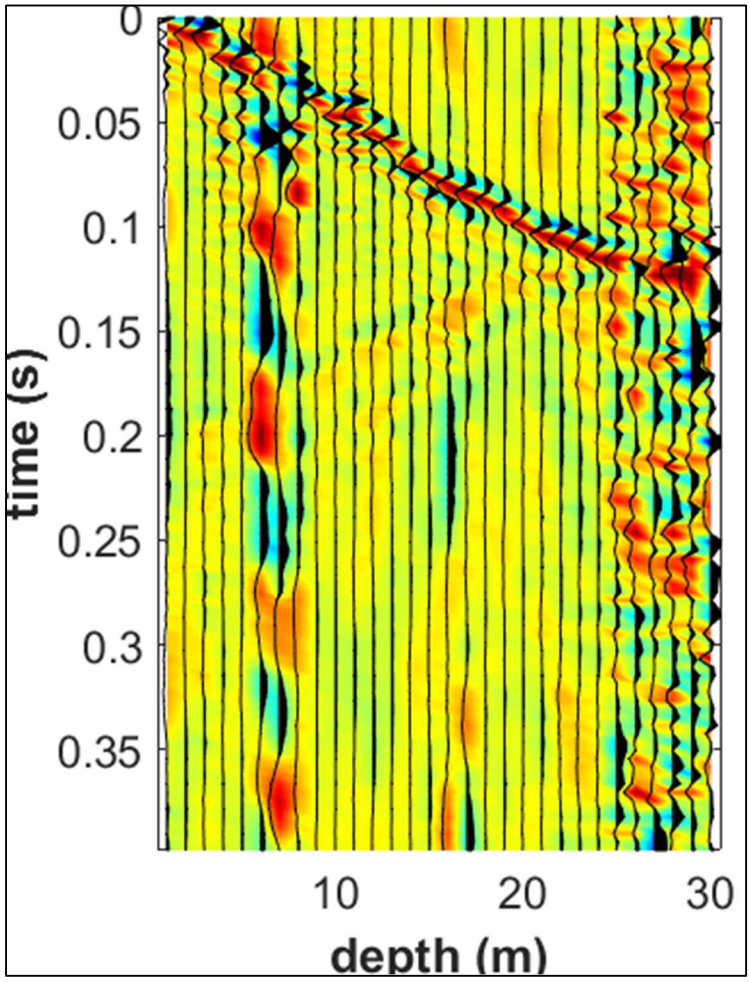


Figura 18 - tabella dei dati

	OF SET
prof [mt]	1.5
1	1.80
2	2.50
3	3.35
4	4.27
5	5.22
6	6.18
7	7.16
8	8.14
9	9.12
10	10.11
11	11.10
12	12.09
13	13.09
14	14.08
15	15.07
16	16.07
17	17.07
18	18.06
19	19.06
20	20.06
21	21.05
22	22.05
23	23.05
24	24.05
25	25.04
26	26.04
27	27.04
28	28.04
29	29.04
30	30.04
31	31.04
32	32.04
33	33.03
34	34.03
35	35.03

TP [ms]	TS [ms]	TP CORR[ms]	TS CORR[ms]	VP [m/s]	VS [m/s]
5.17	9.95	2.87	5.52	349	181
8.06	15.24	6.45	12.19	279	164
10.23	18.81	9.15	16.82	370	178
12.66	23.51	11.85	22.01	370	193
14.93	27.30	14.30	26.15	409	242
17.20	33.79	16.69	32.78	419	151
19.64	38.37	19.20	37.52	397	211
22.35	42.68	21.97	41.95	362	226
25.08	47.03	24.74	46.39	361	225
27.80	51.37	27.49	50.80	363	227
30.49	55.65	30.21	55.14	368	231
32.71	59.28	32.46	58.82	445	272
34.95	62.91	34.72	62.50	442	272
37.18	66.55	36.97	66.17	445	272
39.30	69.97	39.10	69.62	468	290
41.28	73.11	41.10	72.79	501	316
43.25	76.23	43.08	75.93	504	318
45.22	79.34	45.06	79.07	505	319
47.18	82.48	47.03	82.22	508	317
49.16	85.60	49.02	85.36	503	319
51.14	88.74	51.01	88.51	503	317
53.10	91.87	52.98	91.66	508	318
54.67	94.24	54.55	94.04	634	420
56.12	96.43	56.01	96.24	687	454
57.59	98.62	57.49	98.44	678	454
59.04	100.82	58.94	100.65	687	453
60.51	103.00	60.42	102.84	678	457
61.96	105.19	61.87	105.04	688	455
63.43	107.39	63.35	107.25	678	453
64.89	109.58	64.81	109.44	683	455
66.35	111.78	66.27	111.65	683	453
67.80	113.97	67.73	113.84	688	455
69.27	116.17	69.20	116.05	679	453
70.74	118.37	70.67	118.25	679	454
72.20	120.56	72.13	120.45	684	456

Figura 19 - Tabella dei risultati

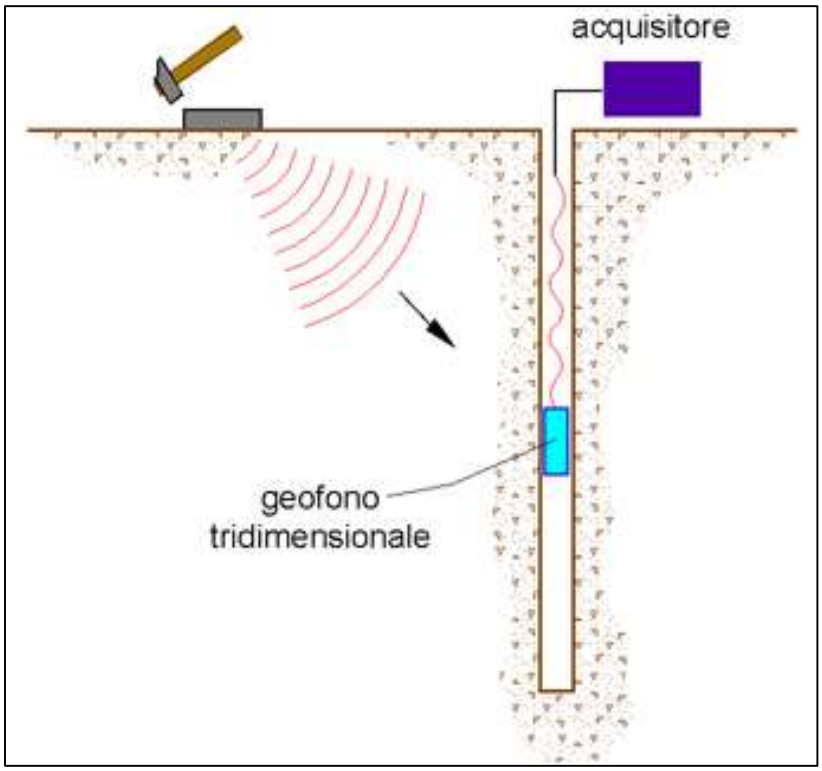


Figura 20 - schema di registrazione segnale

Z [m]	H [m]	Tpc [msec]	Tshc [msec]	Vp [m/s]	Vsh [m/s]
1	1	2,87	5,52	348,43	181,16
3	2	9,15	16,82	318,47	176,99
5	2	14,3	26,15	388,35	214,36
8	3	21,97	41,95	391,13	189,87
12	4	32,46	58,82	381,32	237,11
15	3	39,1	69,62	451,81	277,78
19	4	47,03	82,22	504,41	317,46
27	8	60,42	102,84	597,46	387,97
35	8	72,14	120,46	682,59	454,03

Z = profondità

H = spessore

Tp, Tsh = tempi di percorso,

Vp, Vsh = velocità onde P, SH e SV.

Z [m]	r [kN/m³]	rw [kN/m³]	g [kN/m³]	n [-]	Go [MPa]	Ec [MPa]	E [MPa]	K [MPa]
1	15,83	14,43	16,7	0,31	55,89	206,74	146,96	128,91
3	15,74	14,36	17,64	0,28	56,35	182,44	143,87	108,99
5	16,51	14,92	17,78	0,28	83,31	273,44	213,43	161,69
8	16,02	14,56	17,78	0,35	65,36	277,37	175,93	195,48
12	16,93	15,22	17,76	0,18	101,82	263,33	241,27	125,66
15	17,62	15,71	17,9	0,2	140,84	372,6	336,93	187,18
19	18,21	16,14	18,01	0,17	185,08	467,26	433,84	219,11
27	19,15	16,8	18,19	0,14	279,2	662,11	634,03	293,53
35	19,92	17,34	18,37	0,1	386,15	872,79	852,04	355,02

r = densità sismica **rw** = densità di massa **g** = peso di volume **n** = modulo di Poisson **Go** = modulo di taglio dinamico **Ec** = modulo edometrico **E** = modulo di Young **K** = modulo di incompressibilità

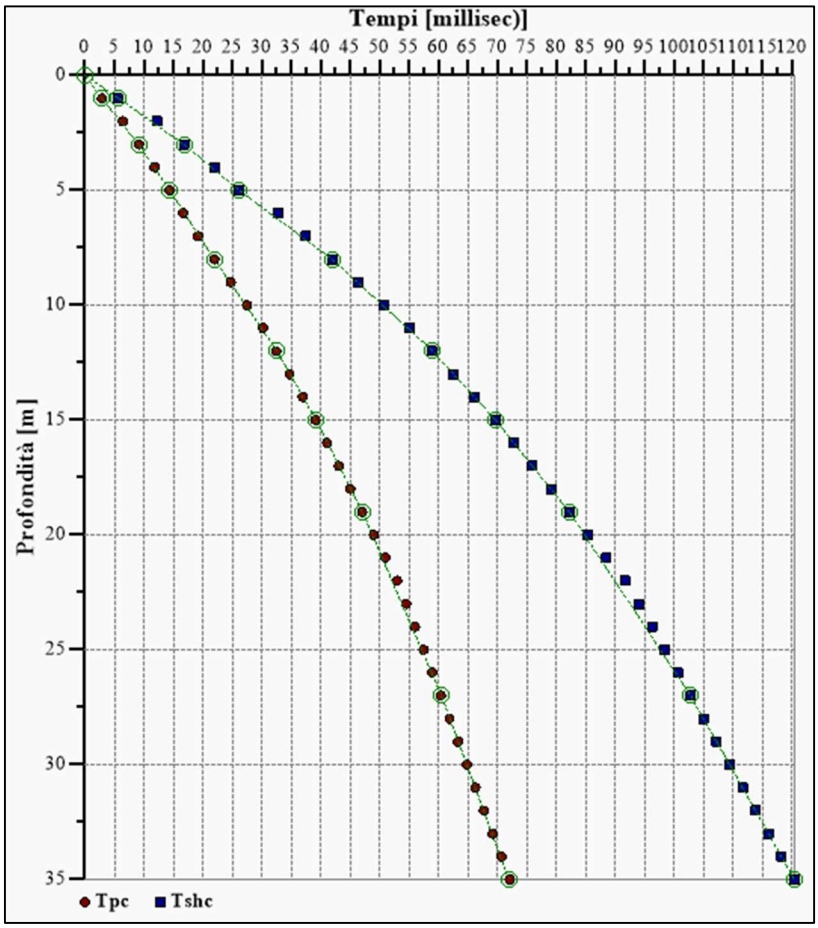


Figura 21 - diagramma di arrivo onde VP e VS

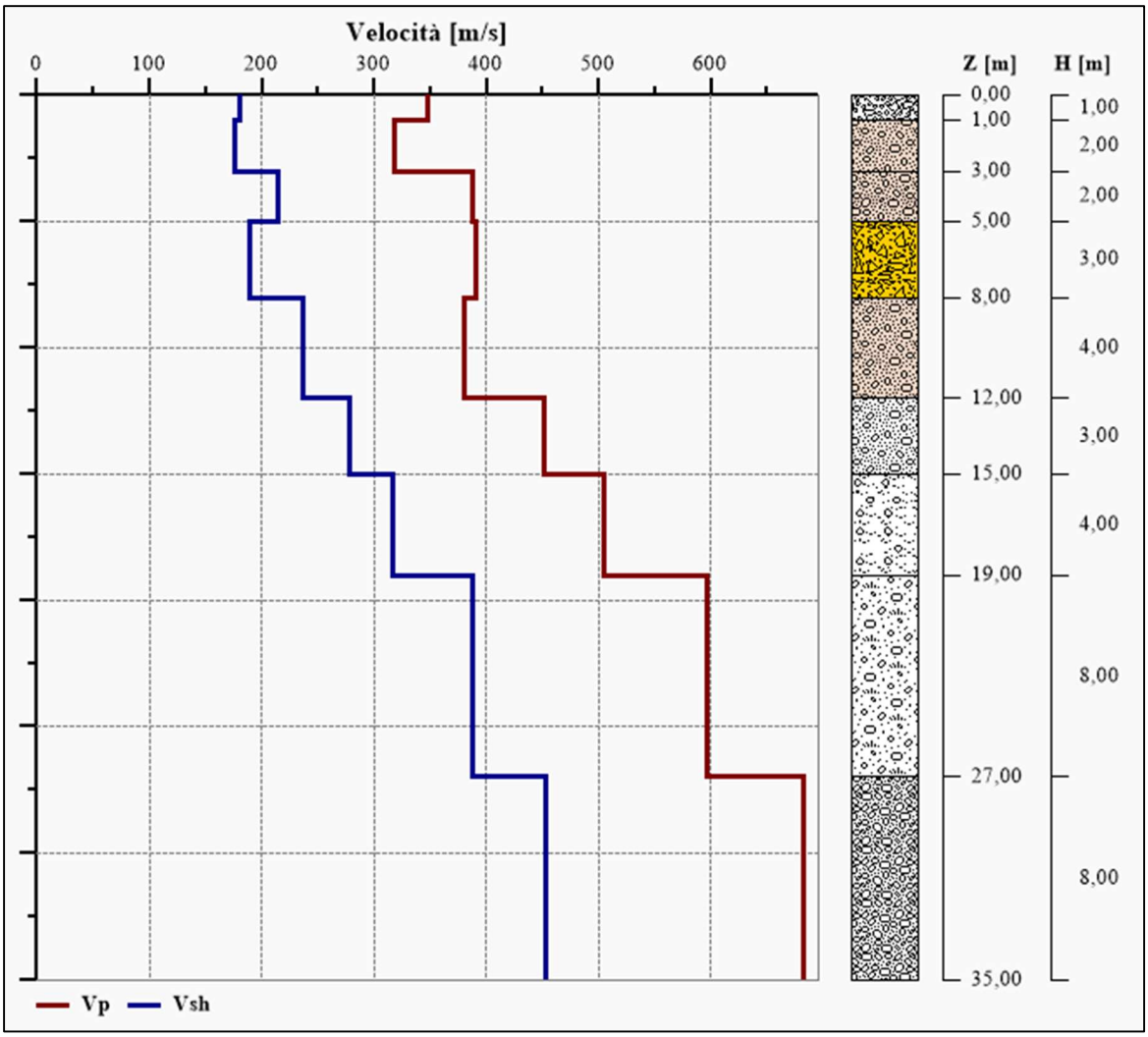


Figura 22 - stratigrafia VP e VS

N	Zpf (m)	VS,eq (m/s)	Categoria
1	0,00	273,44	C (RSL)

6.4.2 RISULTATI DELLA PROVA DOWN-HOLE NEL FORO DEL SONDAGGIO S8-DH

DOWN-HOLE	S3-DH	Data 26/05/2025

Stazione appaltante: Lombardini 22

Località: Melzo (MI)

Oggetto: MILL06

Dispositivo: singolo

Distanza orizzontale dal foro: 1,50 m

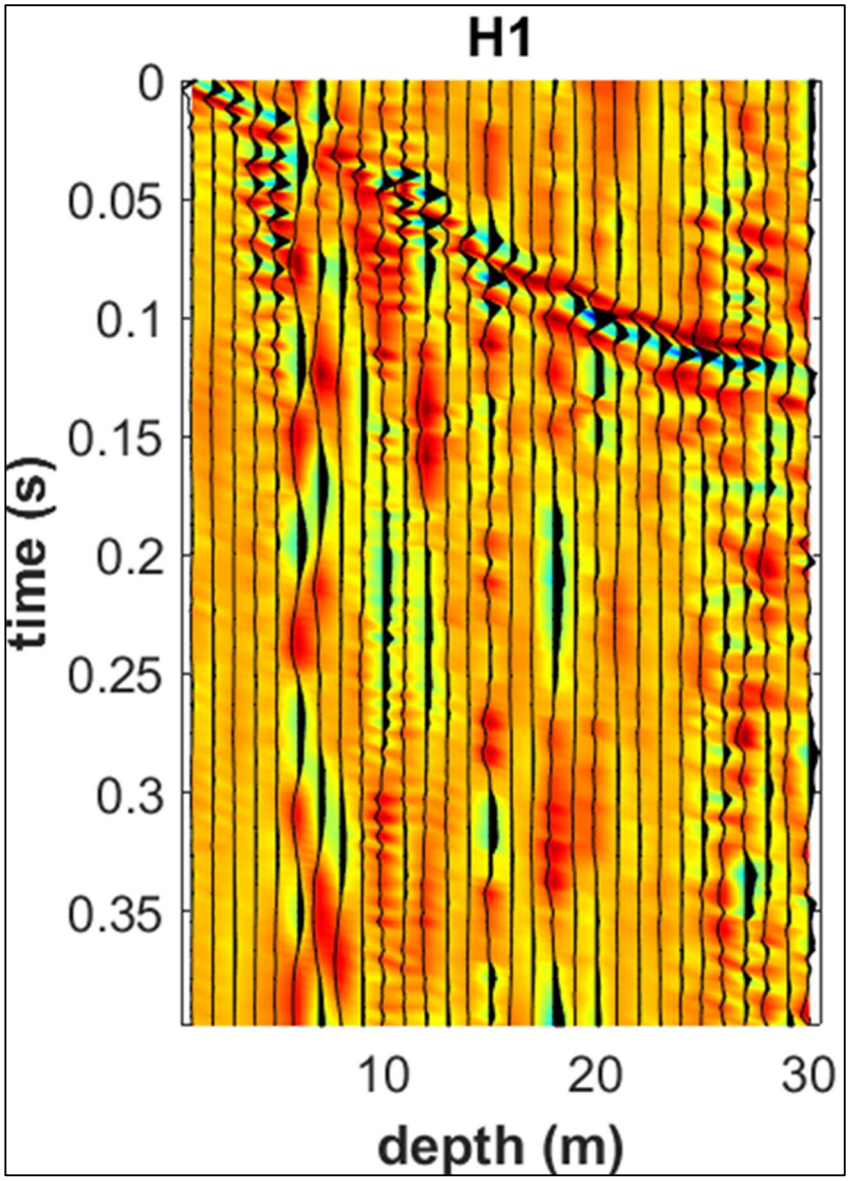


Figura 23: Tabella dei risultati (dromocrone)

prof [mt]	OF SET 1.5
1	1.80
2	2.50
3	3.35
4	4.27
5	5.22
6	6.18
7	7.16
8	8.14
9	9.12
10	10.11
11	11.10
12	12.09
13	13.09
14	14.08
15	15.07
16	16.07
17	17.07
18	18.06
19	19.06
20	20.06
21	21.05
22	22.05
23	23.05
24	24.05
25	25.04
26	26.04
27	27.04
28	28.04
29	29.04
30	30.04
31	31.04
32	32.04
33	33.03
34	34.03
35	35.03

TP [ms]	TS [ms]	TP CORR[ms]	TS CORR[ms]	VP [m/s]	VS [m/s]
5.29	11.31	2.94	6.27	341	159
6.42	12.12	5.13	9.69	455	206
8.14	14.96	7.28	13.38	466	224
10.07	19.50	9.43	18.26	465	205
11.88	23.18	11.38	22.21	514	253
13.69	26.88	13.28	26.08	525	258
15.62	30.52	15.28	29.85	501	266
17.78	33.96	17.48	33.38	455	283
19.95	37.41	19.68	36.90	454	284
22.11	40.87	21.87	40.41	456	285
24.26	44.27	24.04	43.86	461	290
26.02	47.16	25.82	46.79	560	341
27.80	50.05	27.62	49.72	558	342
29.58	52.94	29.41	52.64	558	342
31.27	55.67	31.11	55.39	586	364
32.85	58.16	32.70	57.91	630	398
34.41	60.65	34.28	60.41	635	399
35.97	63.12	35.85	62.90	636	401
37.53	65.61	37.42	65.41	639	399
39.11	68.10	39.00	67.91	632	400
40.68	70.60	40.58	70.42	632	399
42.24	73.09	42.14	72.92	639	399
43.49	74.97	43.40	74.81	795	529
44.65	76.71	44.56	76.56	864	571
45.81	78.46	45.73	78.32	855	570
46.97	80.20	46.89	80.07	860	570
48.14	81.94	48.07	81.82	852	572
49.30	83.69	49.23	83.57	861	571
50.46	85.44	50.39	85.32	857	571
51.62	87.18	51.56	87.07	861	573
52.78	88.93	52.72	88.83	857	569
53.94	90.67	53.88	90.57	861	573
55.11	92.42	55.05	92.33	857	569
56.28	94.17	56.22	94.08	853	569
57.84	98.97	57.78	98.88	641	209

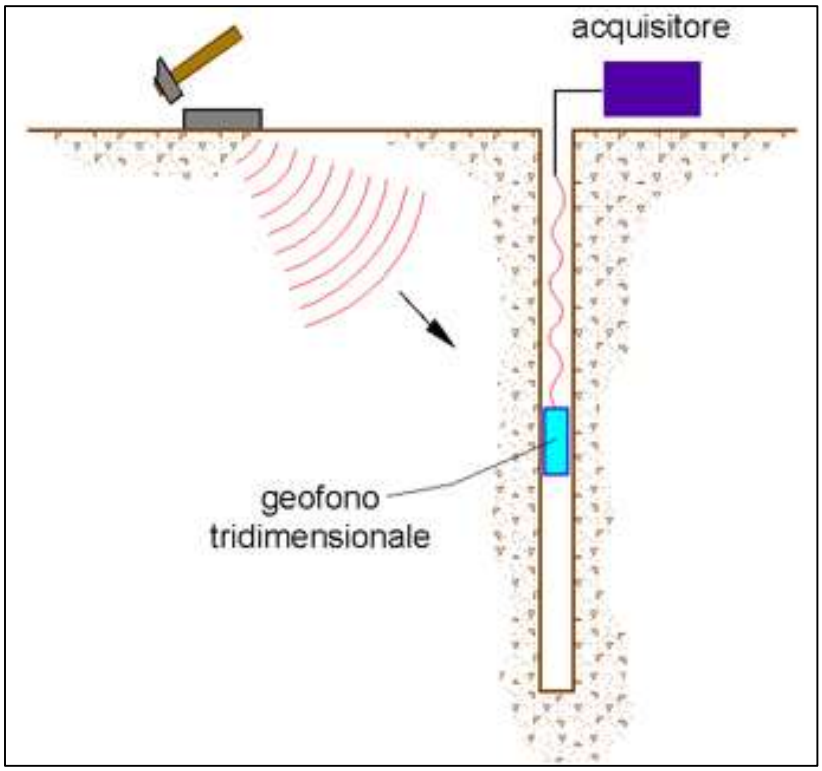


Figura 24 - schema di registrazione segnale

Z [m]	H [m]	Tpc [msec]	Tshc [msec]	Vp [m/s]	Vsh [m/s]
1	1	2,93	6,27	341,3	159,49
4	3	9,43	18,26	461,54	250,21
6	2	13,28	26,08	519,48	255,75
11	5	24,04	43,86	464,68	281,21
15	4	31,11	55,39	565,77	346,92
22	7	42,14	72,92	634,63	399,32
35	13	57,79	98,88	830,67	500,77

Z = profondità

H = spessore

Tp, Tsh = tempi di percorso,

Vp, Vsh = velocità onde P, SH e SV.

Z	r	rw	g	n	Go	Ec	E	K
[m]	[kN/m³]	[kN/m³]	[kN/m³]	[-]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	13,07	14,06	16,68	0,36	43,27	198,13	117,72	13,07
4	14,09	15,39	16,92	0,29	108,02	367,53	279,1	14,09
6	14,51	15,46	17,04	0,34	113,65	468,91	304,59	14,51
11	14,11	15,75	16,93	0,21	136,52	372,77	330,67	14,11
15	14,83	16,43	17,13	0,2	210,23	559,13	504,02	14,83
22	15,26	16,9	17,27	0,17	280,81	709,27	658,39	15,26
35	16,32	17,68	17,66	0,21	451,59	1.242,59	1.096,95	16,32

r = densità sismica **rw** = densità di massa **g** = peso di volume **n** = modulo di Poisson **Go** = modulo di taglio dinamico **Ec** = modulo edometrico **E** = modulo di Young **K** = modulo di incompressibilità

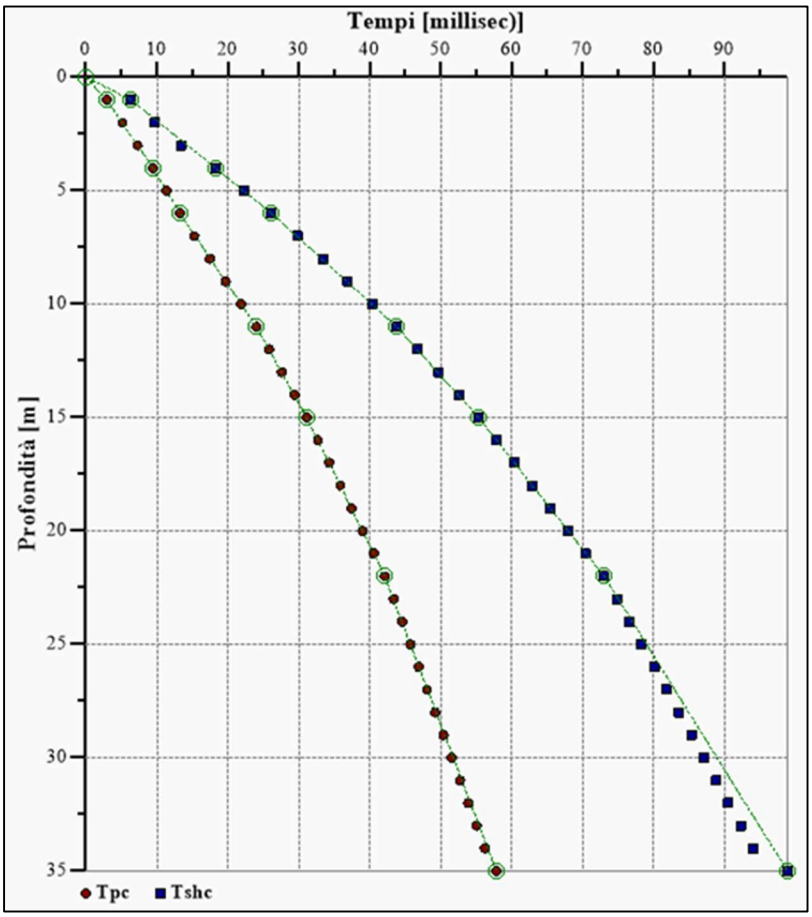
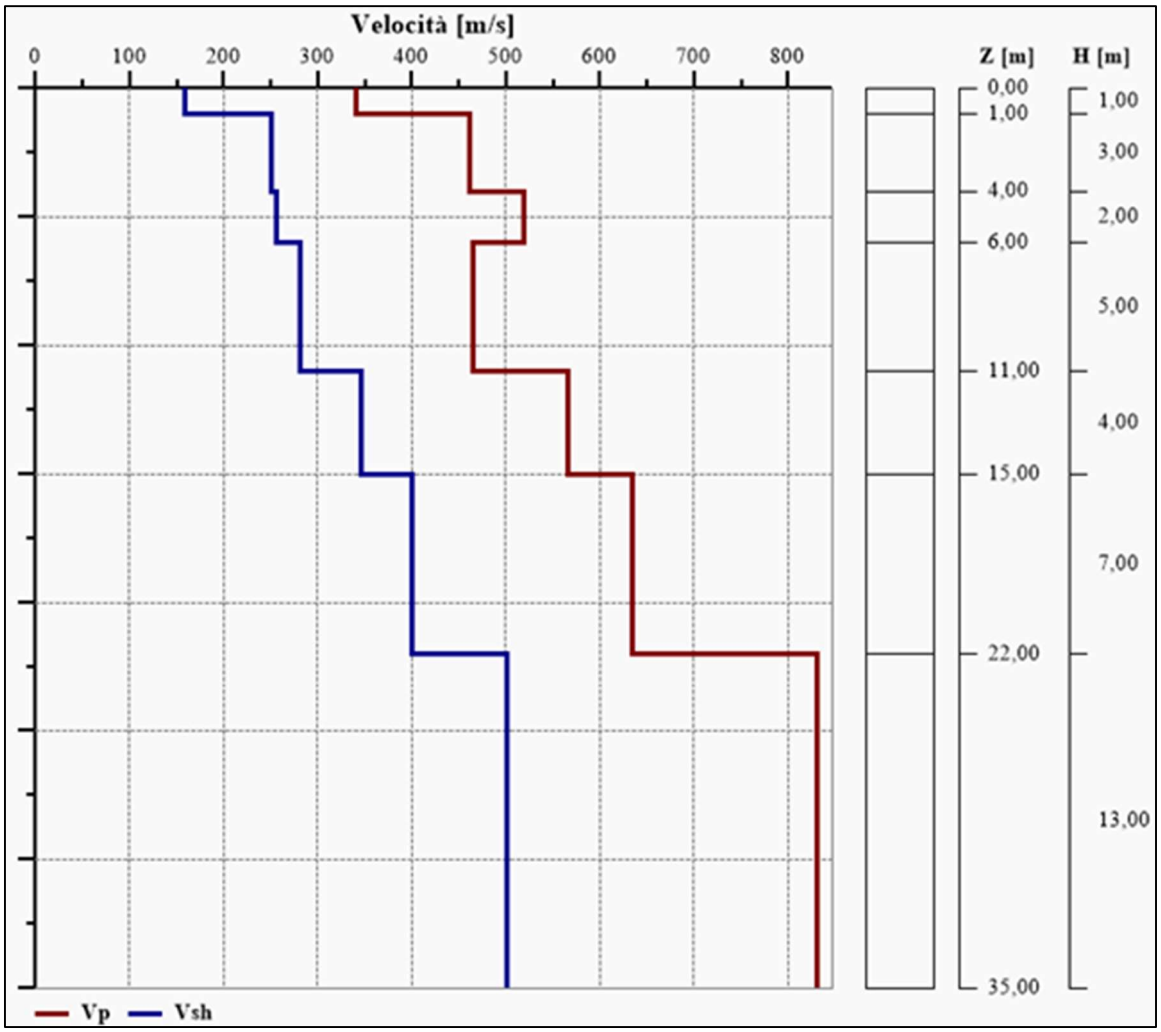


Figura 25 - diagramma di arrivo onde VP e VS



N	Zpf (m)	VS,eq (m/s)	Categoria
1	0,00	337,04	C (RSL)

6.5 RISULTATI DELLA PROVA GEOFISICA MASW

Al fine di fornire i valori delle Vs, necessarie per la caratterizzazione sismica del sito, è stata realizzata una stesa sismica denominata L1, di lunghezza pari a 60,0 metri con distanza intergeofonica pari a 5,0 metri. L'energizzazione del terreno (sorgente di energia), per la lettura dei tempi di arrivo delle onde Superficiali (Rayleigh), è stata ottenuta impiegando una mazza battente da 10 kg in senso verticale su di una piastra in lega di alluminio aderente al suolo. L'energizzazione è stata effettuata agli estremi dello stendimento ad una distanza di 5,0 metri ed è stata eseguita più volte per garantire l'apprezzabilità dei segnali raccolti dal sistema di acquisizione dati.

Si riporta di seguito il sismogramma frutto della somma di ciascuna acquisizione, filtrato di eventuali disturbi di fondo, scelto per la modellazione (figura seguente):

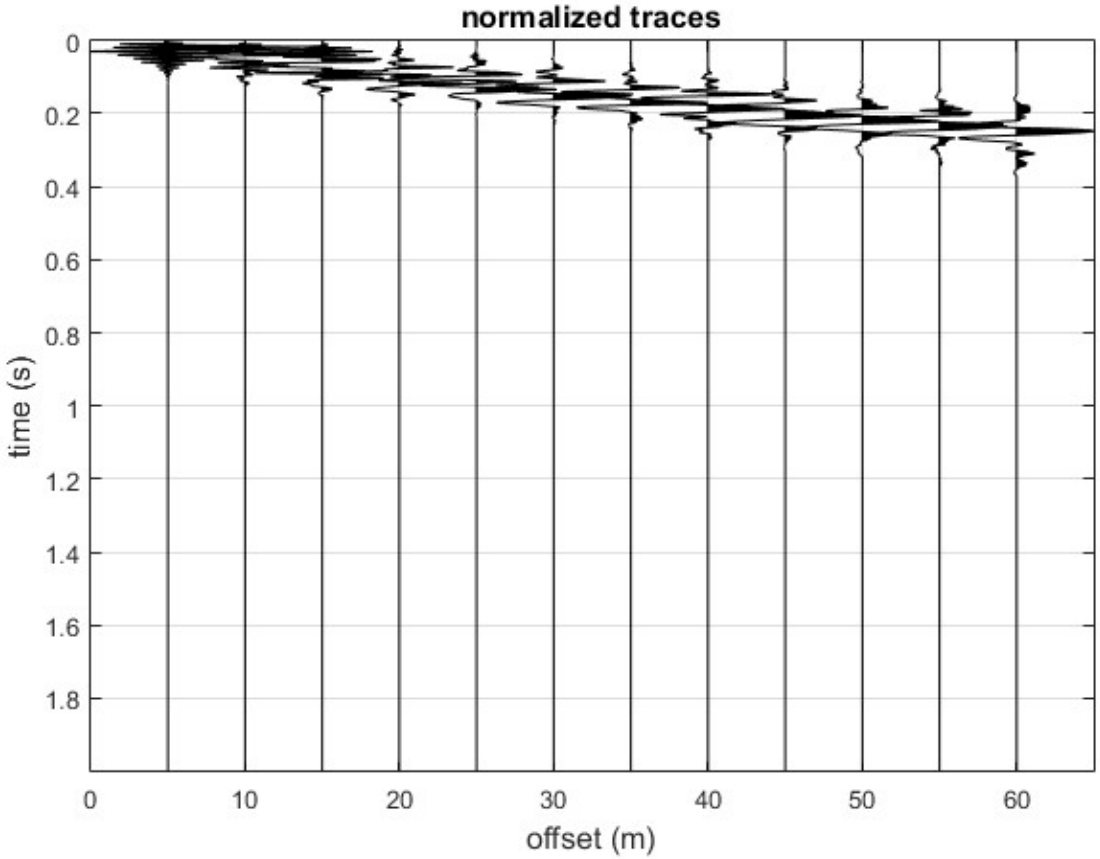


Figura 26 - Sismogramma

L'elaborazione del sismogramma ha consentito di estrapolare lo spettro di velocità dal quale si è risalito tramite picking alla curva di dispersione che consente di ottenere sia gli spessori dei vari strati che le rispettive velocità.

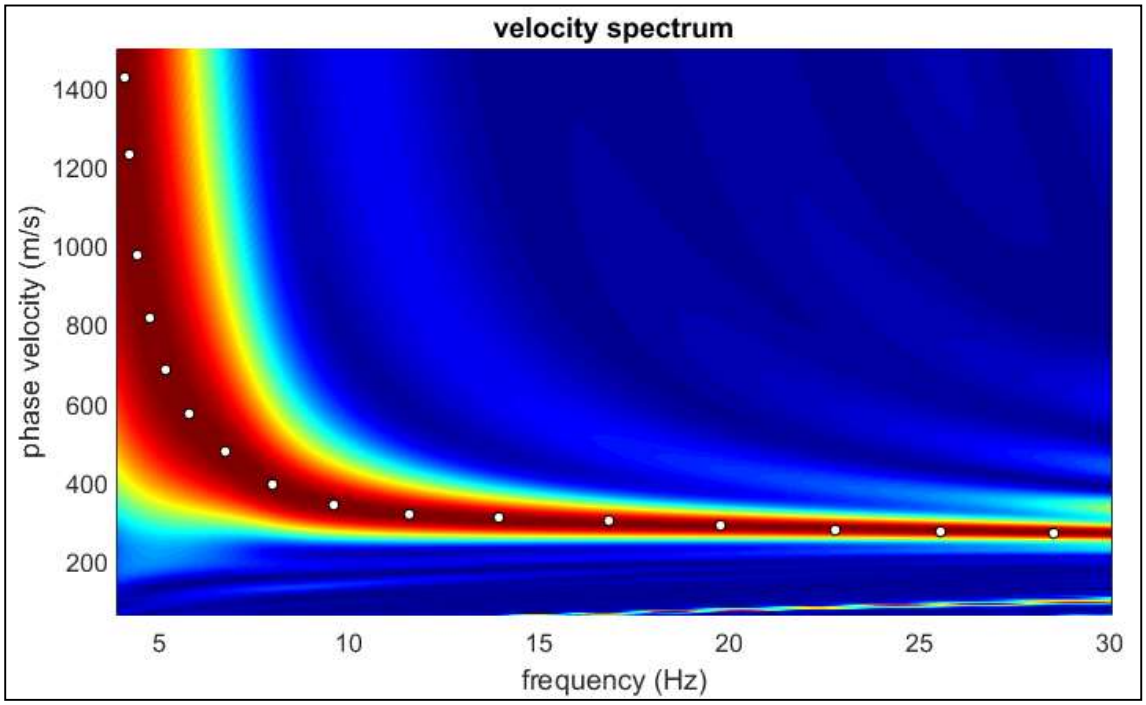


Figura 27 - Spettro di velocità base sismica L1 con picking.

Dall'inversione della curva di dispersione si è ottenuta la ricostruzione del sottosuolo in orizzonti aventi differenti spessori e valori di velocità:

L1		
Spessore (m)	Profondità (m)	VS (m/sec)
1,1	0,0-1,1	203
2,7	1,1-3,8	252
2,6	3,8-6,4	268
3,1	6,4-9,5	245
2,8	9,5-12,3	306
4,5	12,3-16,8	355
4,6	16,8-21,1	388
5,6	21,1-26,7	412
3,3	26,7-30,0	405

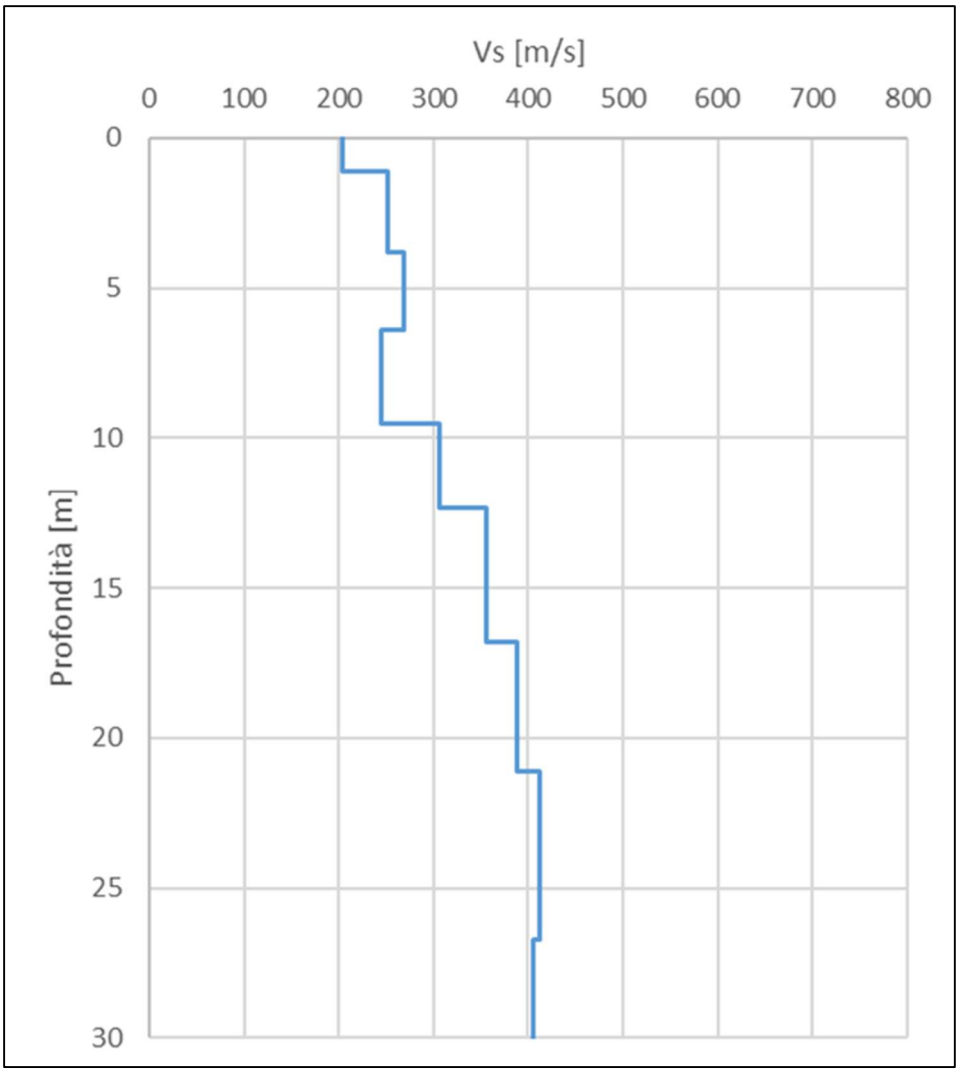


Figura 28 - Profilo sismo-stratigrafico, velocità di propagazione onde S nel sottosuolo

Dall'elaborazione di tali dati il terreno presenta per la linea eseguita, valori delle Vs,eq corrispondenti alle Vs,30 (il substrato sismico non è stato individuato nei primi 30m di profondità) pari a **322,11 m/s**, riferiti all'attuale piano campagna; il terreno è pertanto classificabile in categoria **C** "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s".

6.6 RISULTATI DELLA PROVA GEOFISICA HVSR

Al fine di fornire i valori di frequenza caratteristica del sito sono state eseguite due acquisizioni puntuali (TR1, TR2) in passivo del microtremore sismico ambientale mediante geofono triassiale 3D e per una durata di 20 minuti ciascuna. Si riportano di seguito i relativi diagrammi H/V elaborati dalle misurazioni effettuate sull'area (figure seguenti).

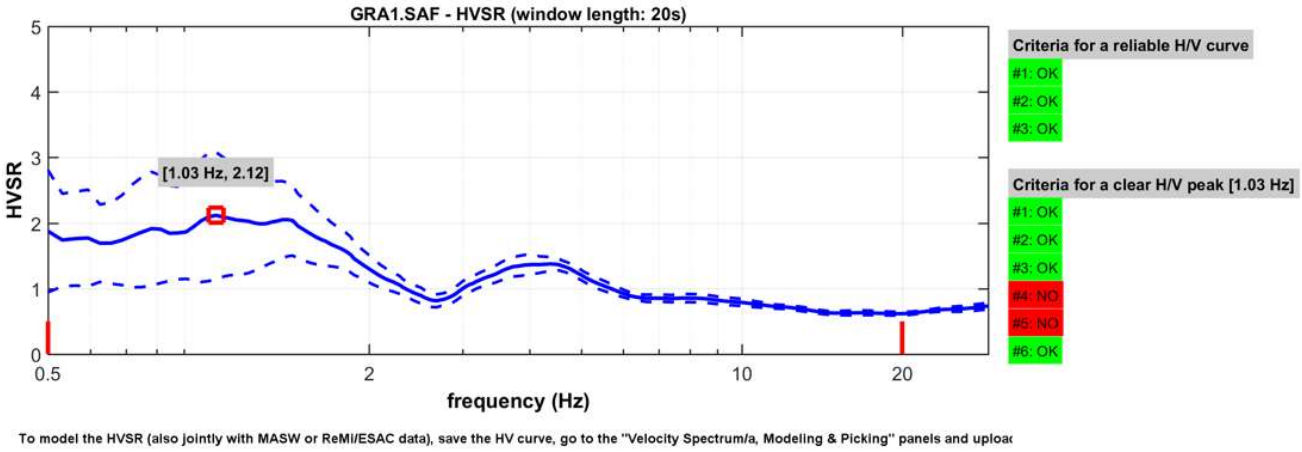


Figura 29 - Rapporti spettrali H/V vs Hz rilevazione sismica passiva TR1

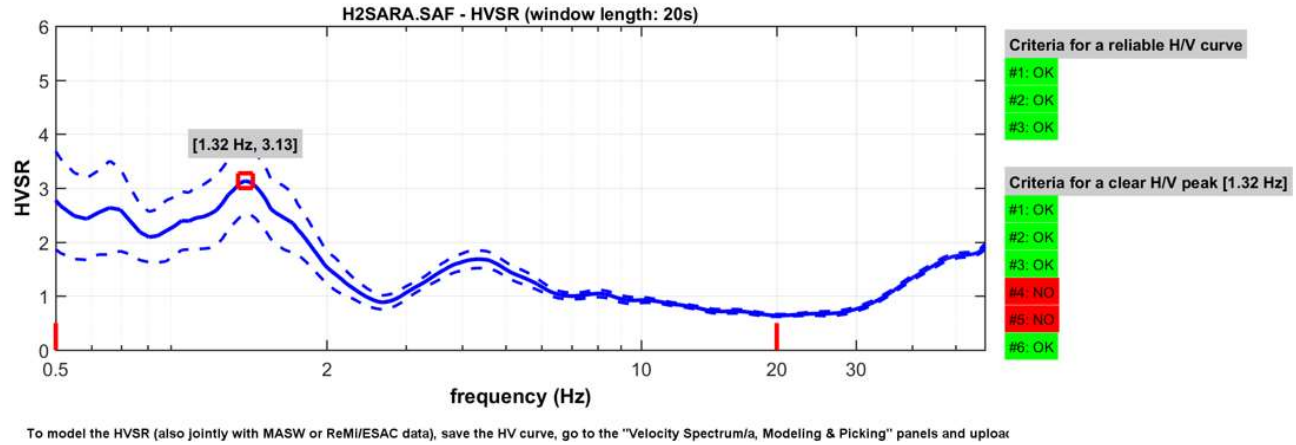


Figura 30 - Rapporti spettrali H/V vs Hz rilevazione sismica passiva TR2

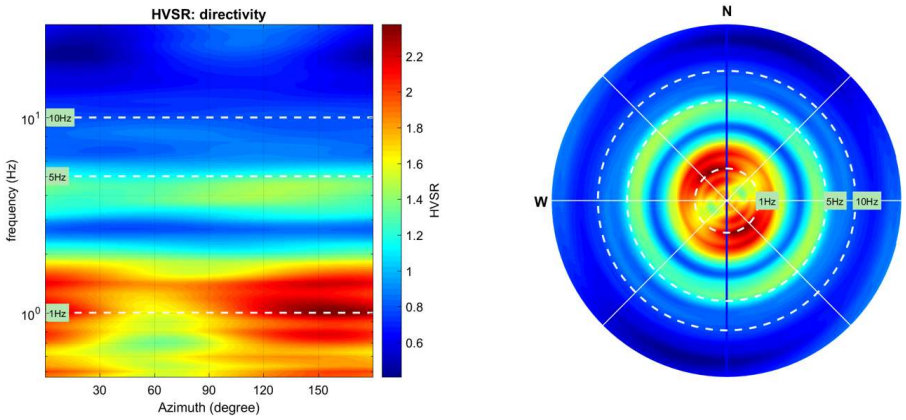


Figura 31 - Rapporti spettrali H/V vs Hz rilevazione sismica passiva TR1

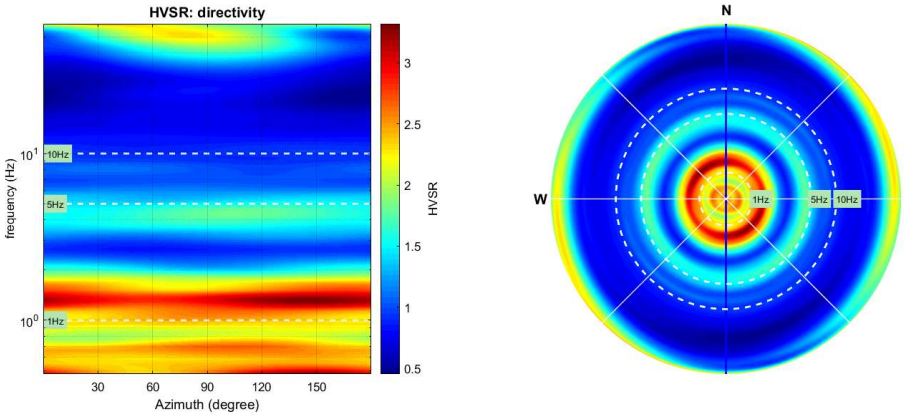


Figura 32 - Rapporti spettrali H/V vs Hz rilevazione sismica passiva TR2

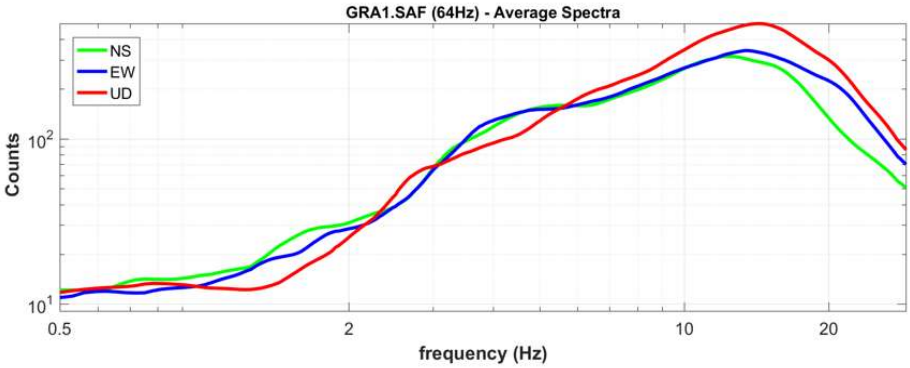


Figura 33 - Spettri delle singole componenti rilevazione sismica passiva TR1.

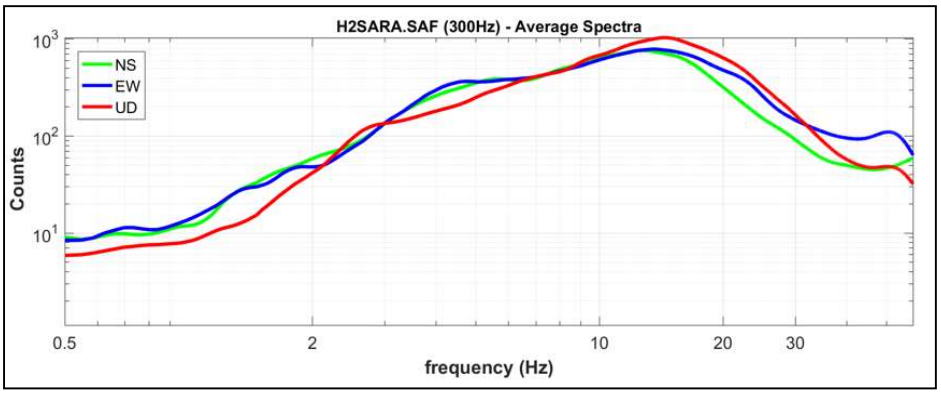


Figura 34 - Spettri delle singole componenti rilevazione sismica passiva TR2.

FREQUENZA CARATTERISTICA DI RISONANZA DEL SITO

Dal punto di vista empirico, è noto che la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dalla sua altezza e può essere pertanto calcolata, in prima approssimazione, secondo la formula:

$$\text{freq. naturale edificio} \cong 10 \text{ Hz} / \text{numero piani}$$

Si tenga conto che se si verifica la seguente somiglianza tra risonanza del terreno e della struttura, si creano condizioni di pericolo, perché si dà luogo alla massima amplificazione:

$$\text{freq. naturale edificio} \cong \text{freq. naturale coperture}$$

Dall'elaborazione dei risultati e dall'analisi degli stessi è possibile riconoscere i seguenti picchi di frequenza:

HVSR 1: picco di frequenza principale a **1.03 hz**, picchi di frequenza secondari a 1.50÷1.70 Hz e 4.5 Hz;

HVSR 2: picco di frequenza principale a **1.32 hz**, picchi di frequenza secondari a 0.60÷0.70 Hz e 4.5 Hz;

Si evince che tali valori di frequenza caratteristica ed i valori di frequenza fondamentale di risonanza delle strutture esistenti ed in progetto dovranno essere sufficientemente diversi così da non comportare il verificarsi di fenomeni di doppia risonanza.

6.7 VALUTAZIONE DELLA SUSCETTIBILTA' SISMICA DELL'AREA

Per determinare i valori di Fa dal punto di vista degli effetti litologici, sono stati utilizzati i risultati emersi dall'esecuzione dello stendimento geofisico con metodo MASW e le apposite schede messe a disposizione dalla Regione Lombardia. A tale scopo si è calcolato il valore di Fa (fattore di amplificazione) da confrontare con i limiti di riferimento indicati dalla Regione Lombardia.
Sulla base di parametri geotecnici e litologici, si individua la litologia prevalente del sito e da questa si sceglie la relativa scheda di riferimento riportata nella D.G.R. 8/7374 del 28 Maggio 2008. Nello specifico la normativa regionale riporta 6 tipi di schede litologiche:

- scheda per le litologie prevalentemente ghiaiose;
- scheda per le litologie prevalentemente limoso-argillose (tipo 1 e tipo 2)
- scheda per le litologie prevalentemente limoso-sabbiose (tipo 1 e tipo 2)
- scheda per le litologie sabbiose (da utilizzarsi in zone di pianura)

Si riportano, nell'apposito diagramma, i valori delle Vs relative ad ogni strato. Tale sovrapposizione permette di verificare se si rientra o meno nel campo di validità della scheda di riferimento. I dati ottenuti in campagna e riportati nelle precedenti tabelle vengono inseriti all'interno della scheda relativa al grafico per "litologia sabbiosa".

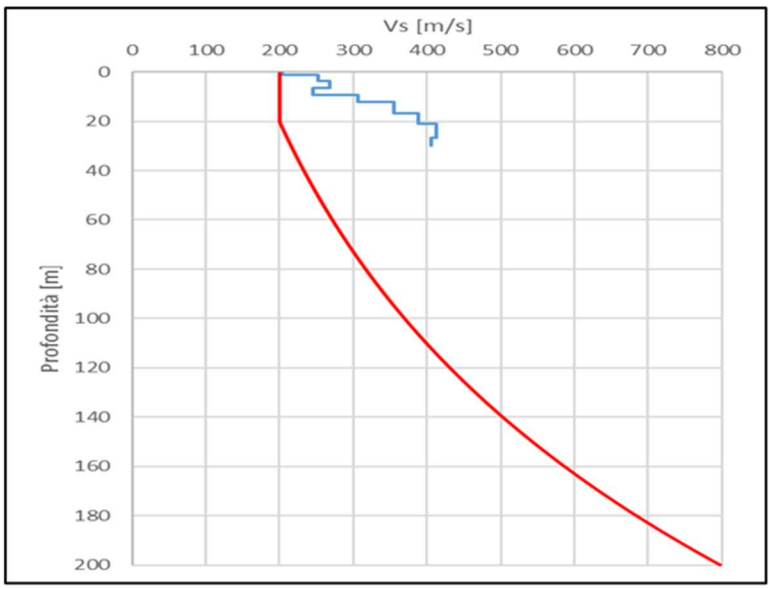


Figura 35 - Grafico relativo alla "litologia sabbiosa a cui sono stati sovrapposti i valori parziali di ogni intervallo in base alle Vs.

Come è possibile osservare l'andamento delle Vs è posizionato al di "sopra" della linea rossa che divide il campo di validità dal campo di non validità. Il fatto che questa scheda litologica soddisfi questo primo "vincolo" comporta che i valori delle Vs ricavati siano correlabili con la relativa scheda di riferimento per "litologia sabbiosa". Ottenuta la velocità del primo strato ed il relativo spessore, si riportano questi valori all'interno dell'abaco al fine di ricavare il colore della curva da utilizzare per ottenere il valore di Fa. Tale parametro (Fa) verrà confrontato con quello riportato in bibliografia in funzione della struttura da realizzare: intervallo 0.1-0.5 s - riferito a strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide e intervallo 0.5-1.5 s - riferito a strutture più alte e flessibili. Per utilizzare correttamente l'abaco di fig. 31 come vincolo viene posto che il primo strato debba avere almeno 4 m di spessore con velocità di almeno 200 m/s. Se tale condizione non fosse soddisfatta sarebbe necessario calcolare la media pesata delle velocità delle Vs di almeno i primi 4.0 metri di terreno, tenendo in dovuta considerazione gli spessori parziali con le rispettive velocità delle onde di taglio.

		SABBIOSA																				
		Profodità primo strato (m)																				
		1-3	4	5-12	13	14	15	16	1	18	20	25	30	40	50	60	70	90	110	130	140	160	180
Velocità primo strato [m]	200		2	1-2	2	3	3	3	3	3	3												
	250		2	1-2	2	2	2	2	2	2	3	3	NA	NA	NA								
	300		2	1-2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	NA	NA	NA	NA						
	350		2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	NA	NA	NA					
	400		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA				
	450		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA			
	500		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA		
	600		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA	NA	
	700		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA	NA	NA

Figura 36 - Abaco per individuazione Fs

Nel caso in esame è stata effettuata la media pesata delle velocità delle Vs per i primi metri di spessore. Intersecando il valore di velocità riscontrata con la profondità sopra indicata, si ricade nel campo 2 che corrisponde alla curva 2 verde.

Con i valori sopra ottenuti si calcola il periodo "T" relativo al sito. Le velocità verificate dalle indagini M.A.S.W. non raggiungono mai gli 800 m/s come previsto dalla metodologia per il calcolo di Fa: di conseguenza, in funzione delle condizioni stratigrafico-sismiche dell'area è stato ipotizzato un gradiente di velocità delle onde aumentante man mano con la profondità fino a raggiunge gli 800 m/s.

Conoscendo la velocità del primo strato, la curva di riferimento ed il valore del periodo T calcolato, si può risalire al valore di Fa utilizzando gli abachi di riferimento descritte in seguito per la litologia sabbiosa e riferiti rispettivamente ad edifici bassi ed ad edifici alti.

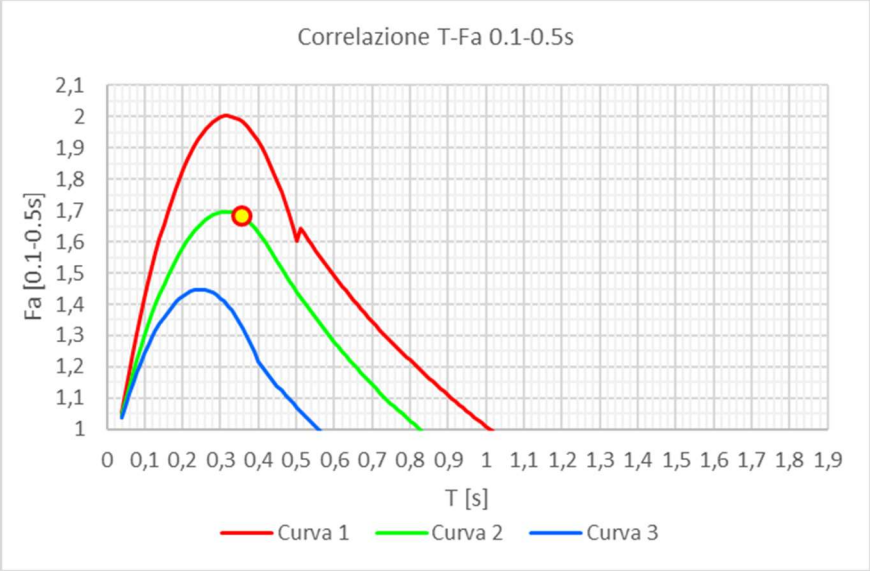


Figura 37 - Abaco di riferimento per la litologia sabbiosa per determinare Fs sulla base di T e della curva di riferimento (edifici bassi)

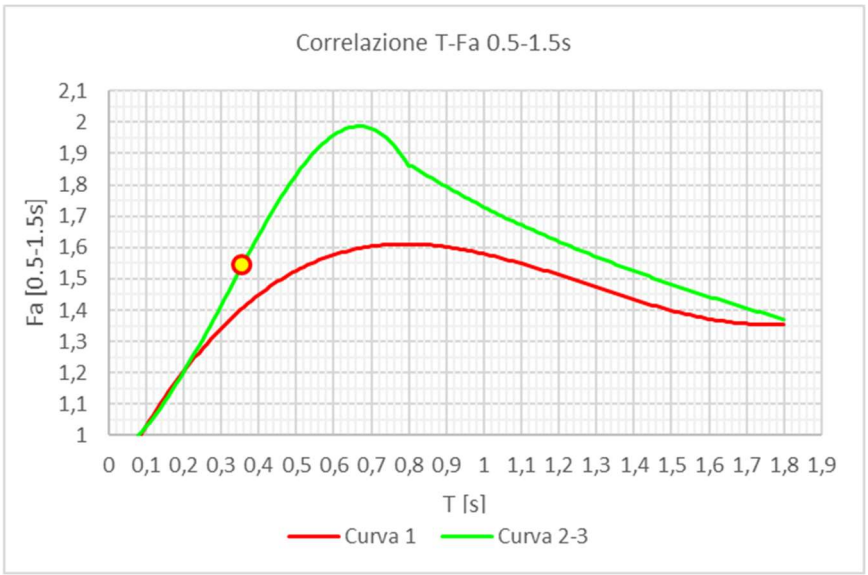


Figura 38 - Abaco di riferimento per la litologia sabbiosa per determinare Fa sulla base di T e della curva di riferimento (edifici alti).

a procedura prevede di stimare Fa con le schede di valutazione sopra riportate e di confrontarlo con il corrispettivo valore di soglia, considerando una variabilità di ±0,1, che tiene conto la variabilità del valore di Fa ottenuto. Dagli abachi emerge come gli Fa risultino pari a:

Fa [0.1-0.5s]	0,89
Fa [0.5-1.5s]	2,40

Soglie: 0,1 s – 0,5 s

PR	CM	COMUNE	INTERVALLO	Valori soglia			
				B	C	D	E
15	142	MELZO	0.1 - 0.5	1,4	1,8	2,2	2,0

Soglie: 0,5s – 1,5 s

PR	CM	COMUNE	INTERVALLO	Valori soglia			
				B	C	D	E
15	142	MELZO	0.5 - 1.5	1,7	2,4	4,2	3,1

Pertanto: **0,89< 1,8** **Masw**

quindi **Fa - calcolato < Fa – soglia** **verificato**

La normativa è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica del sito.

Le tabelle sottostanti riportano i valori di Fa relativi, nel primo caso ad edifici bassi (max. 4 piani), nel secondo caso ad edifici alti e flessibili (5 o più piani) per ogni tipo di suolo individuato dalla Regione Lombardia per il comune di MELZO (MI).

Ne deriva che, sia nel caso di edifici bassi che caso di edifici alti, il valore di Fa calcolato e riferito alla **categoria di suolo C** è inferiore al valore di riferimento; pertanto, va considerato lo spettro proposto dalla normativa per suoli di **tipo C**, adatta e a tenere in considerazione la reale amplificazione presente nel sito.

6.8 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

Per quanto riguarda la determinazione della categoria di sottosuolo il D.M. 17.01.2018 prevede una classificazione in cinque categorie principali riportate nella tabella 3.2.II (fig. definite in base ai valori

della velocità equivalente Vs, eq corrispondente alla velocità media di propagazione delle onde sismiche di taglio fino alla profondità del substrato sismico, definito come quella formazione caratterizzata da VS non inferiore a 800 m/s. Per depositi con profondità di tale substrato superiore a 30m la velocità equivalente Vs, eq è definita dal parametro VS,30, considerando le proprietà degli strati di terreno fino alla profondità di 30m.

L'espressione per la determinazione della velocità equivalente Vs, eq è la seguente:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_i^N \frac{h_i}{V_i}}$$

hi = Spessore in metri dello strato i-esimo

Vi = Velocità dell'onda di taglio i-esima

N = Numero di strati

H = Profondità del substrato sismico con Vs>800m/s

Per il sito in esame la categoria di sottosuolo è stata determinata tramite i dati ottenuti dagli stendimenti sismica con metodologia DOWN-HOLE, M.A.S.W e HVSR eseguite in corrispondenza dell'area di indagine.

Dall'elaborazione di tali dati il terreno presenta per la linea eseguita, valori delle Vs30 seguenti:

- MASW: Vs30 = **322,11 m/s**
- Down-hole, S3-DH: Vs30 = **273,44 m/s**
- Down-hole, S8-DH: Vs30 = **377,04 m/s**

Tutte le velocità delle onde Vs,30 sono riferite all'attuale piano campagna per quello che riguarda l'area.

Per la classificazione del suolo si è ritenuto più attendibile adottare le risultanze provenienti dalle prove eseguite in sito per cui il terreno è pertanto classificabile in categoria C: "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con profondità

del substrato superiori a 30m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s".

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	*Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti,* caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	*Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti,* con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	*Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D,* con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Figura 39 - Tabella 3.2.II "Categoria di sottosuolo" – D.M. 17.10.2018

6.9 CATEGORIA TOPOGRAFICA

Secondo la più recente revisione delle Norme Tecniche in vigore, per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (categorie topografiche da NTC2018):

T1 Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i ≤ 15°

T2 Pendii con inclinazione media i > 15°

T3 Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media 15° ≤ i ≤ 30°

T4 Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media i > 30°

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media ≤ 15°
T2	Pendii con inclinazione media i > 15°
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media 15 ≤ i ≤ 30°
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media i > 30°

Figura 40 - Tabella 3.2.III "Categoria topografica" – D.M. 17.10.2018

Le suesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

La categoria topografica è T1

7. RISPOSTA SISMICA LOCALE DI TERZO LIVELLO

7.1 CALCOLO DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE

Per la valutazione della risposta sismica locale si è proceduto mediante quanto indicato nelle NTC in modo da determinare l'azione sismica da inserire nell'analisi di stabilità del deposito.
La definizione dell'azione sismica è stata eseguita attraverso i seguenti passaggi.

7.1.1 STRATIGRAFIA SISMOGRAFICA DI RIFERIMENTO

La stratigrafia sismografica di riferimento è stata ottenuta considerando l'andamento litostratigrafico proveniente da un pozzo ad uso potabile terebrato nel comune di MELZO nei pressi dell'area di studio, ritenuto attendibile per la caratterizzazione sismica e per la definizione del bedrock.

Figura 41 - ubicazione del pozzo 21545

ISPRA — Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

Archivio nazionale delle indagini nel sottosuolo (Legge 464/1984)

Dati generali

Codice: 21545
Regione: LOMBARDIA
Provincia: MILANO
Comune: MELZO
Tipologia: PERFORAZIONE
Opera: POZZO IDROPOTABILE (ACQUEDOTTISTICO)
Profondità (m): 280,00
Quota pc slm (m): 121,00
Anno realizzazione: ND
Numero diametri: 2
Presenza acqua: SI
Portata massima (l/s): 19,000
Portata esercizio (l/s): 15,000
Numero falde: 3
Numero filtri: 1
Numero piezometrie: 2
Stratigrafia: SI
Certificazione(*): NO
Numero strati: 24
Longitudine WGS84 (dd): 9,419431
Latitudine WGS84 (dd): 45,506542
Longitudine WGS84 (dms): 9° 25' 09.95" E
Latitudine WGS84 (dms): 45° 30' 23.55" N

(*)Indica la presenza di un professionista nella compilazione della stratigrafia

Ubicazione indicativa dell'area d'indagine

DIAMETRI PERFORAZIONE

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)
1	0,00	143,00	143,00	1000
2	143,00	280,00	137,00	700

FALDE ACQUIFERE

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)
1	12,00	27,00	15,00
2	32,00	37,00	5,00
3	54,00	60,00	6,00

POSIZIONE FILTRI

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)
1	54,00	60,00	6,00	323

MISURE PIEZOMETRICHE

Data rilevamento	Livello statico (m)	Livello dinamico (m)	Abbassamento (m)	Portata (l/s)
giu/1992	6,80	9,30	2,50	10,600

giu/1992	6,80	11,10	4,30	19,200

STRATIGRAFIA

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Spessore (m)	Età geologica	Descrizione litologica
1	0,00	2,50	2,50		TERRENO VEGETALE E DI RIPORTO
2	2,50	7,50	5,00		CIOTTOLI, GHIAIA E SABBIA ARGILLOSA CON BLOCCHI
3	7,50	9,00	1,50		ARGILLA CENERE
4	9,00	12,00	3,00		SABBIA ARGILLOSA ROSSICCIA INGLOBANTE CIOTTOLI
5	12,00	14,00	2,00		GHIAIA E SABBIA CON GHIAIETTO
6	14,00	27,00	13,00		CIOTTOLI E GHIAIA CON BLOCCHI
7	27,00	30,00	3,00		ARGILLA LEGGERMENTE SABBIOSA ROSSICCIA INGLOBANTE GHIAIETTO
8	30,00	32,00	2,00		CONGLOMERATO COMPATTO
9	32,00	37,00	5,00		ARENARIA CON GHIAIA E GHIAIETTO
10	37,00	50,50	13,50		ARGILLA LEGGERMENTE SAABBIOSA ROSSICCIA
11	50,50	53,50	3,00		ARGILLA SABBIOSA GIALLA
12	53,50	57,50	4,00		GHIAIA E SABBIA CON CIOTTOLI
13	57,50	60,50	3,00		CONGLOMERATO FESSURATO
14	60,50	77,00	16,50		ARGILLA LIMOSA GIALLA
15	77,00	84,00	7,00		SABBIA FINE GIALLA
16	84,00	169,00	85,00		ARGILLA AZZURRA LEGGERMENTE LIMOSA
17	169,00	177,00	8,00		ARGILLA NERA LEGGERMENTE LIMOSA E TORBA
18	177,00	181,00	4,00		ARGILLA LIMOSA CENERE CON FOSSILI
19	181,00	186,00	5,00		ARGILLA SCURA CON TORBA
20	186,00	188,00	2,00		GHIAIA E SABBIA CON QUALCHE CIOTTOLO
21	188,00	222,50	34,50		ARGILLA LIMOSA CENERE LEGGERMENTE SABBIOSA
22	222,50	223,00	0,50		ARENARIA
23	223,00	256,00	33,00		ARGILLA CENERE
24	256,00	280,00	24,00		ARGILLA AZZURRA

Figura 42 - Stratigrafia del pozzo ad uso potabile – comune di MELZO

Si riporta di seguito il profilo sismico della prova DOWN-HOLE eseguita nel foro del sondaggio S3 fino alla profondità di 35,0m.

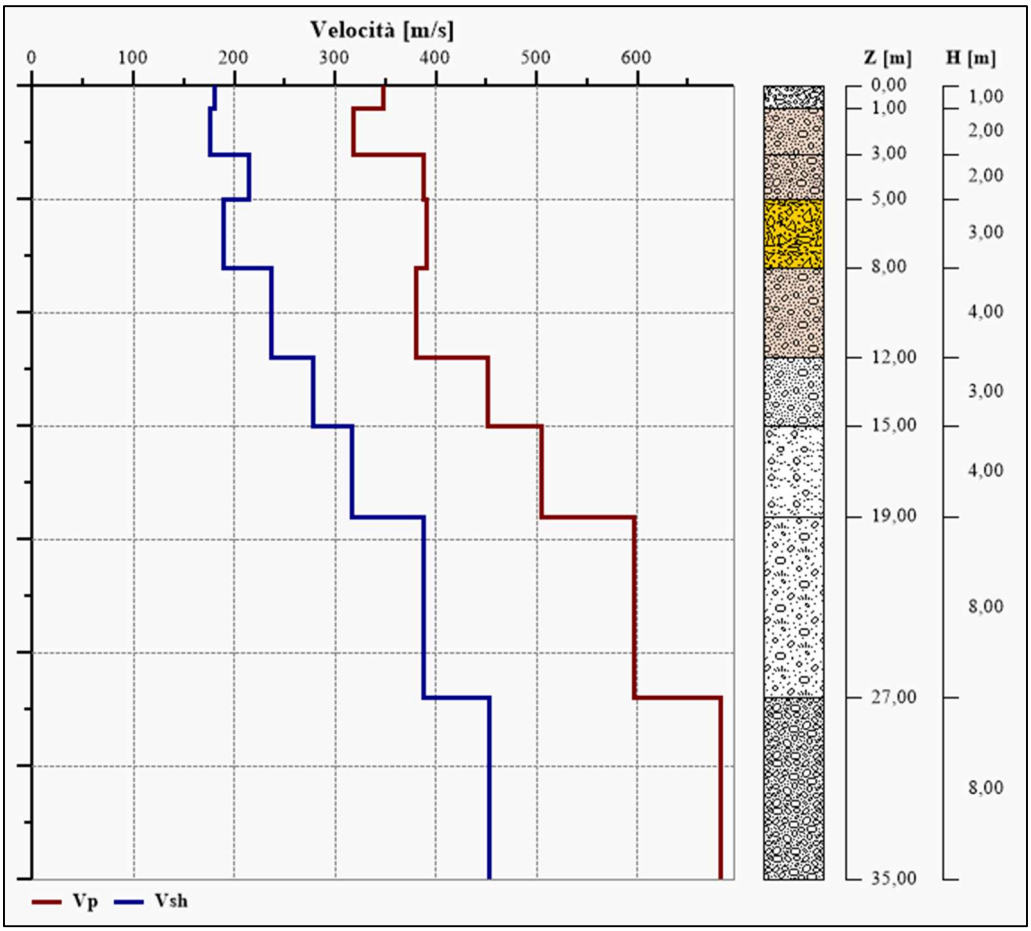


Figura 43 - Diagramma delle velocità Vs riferite ai vari strati intercettati nella base sismica L1

Dalla profondità 35,0 m fino al bedrock sismico, è stato ricostruito l'andamento delle velocità delle onde secondo quanto indicato nella **Deliberazione di Giunta regionale 30 novembre 2011 – n. IX/2616 "Aggiornamento dei 'Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2005, n. 12', approvati con d.g.r. 22 dicembre 2005, n. 8/1566 e successivamente modificati con d.g.r. 28 maggio 2008, n.8/7374", pubblicata sul BURL n. 50 Serie ordinaria del 15 dicembre 2012.**

Nel **capitolo 2.2.2 – Effetti litologici** di questo decreto, si dichiara la procedura semplificata richiedente la conoscenza dei seguenti parametri:

- litologia prevalente dei materiali presenti nel sito;
- stratigrafia del sito;

- andamento delle Vs con la profondità fino a valori pari o superiori a 800 m/s; la conoscenza degli spessori e delle Vs può essere ottenuta utilizzando qualsiasi metodo di indagine diretto ed indiretto, in grado di fornire un modello geologico e geofisico del sottosuolo attendibile in relazione alla situazione geologica del sito e il più dettagliato possibile nella parte più superficiale per una corretta individuazione dello strato superficiale; in mancanza del raggiungimento del bedrock (Vs ≥ 800 m/s) con le indagini è possibile ipotizzare un opportuno gradiente di Vs con la profondità sulla base dei dati ottenuti dall'indagine, tale da raggiungere il valore di 800 m/s;
- spessore e velocità di ciascun strato;
- sezioni geologiche, conseguente modello geofisico - geotecnico ed identificazione dei punti rappresentativi sui quali effettuare l'analisi.

Si riporta di seguito la stratigrafia sismografica di riferimento dell'area di studio:

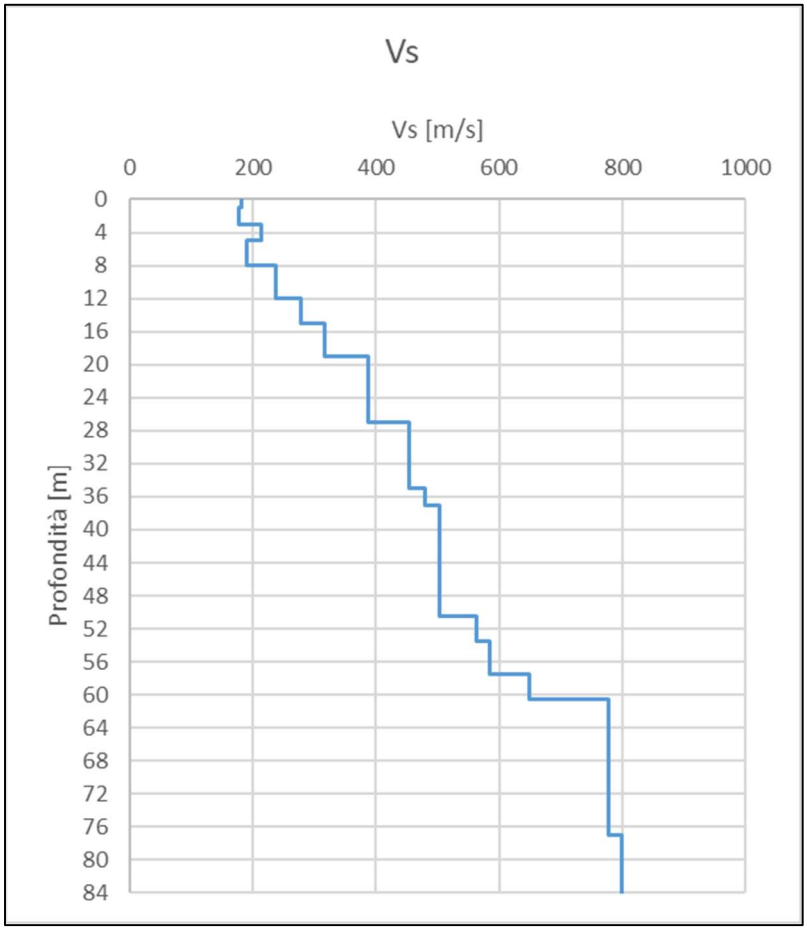


Figura 44 - Profilo Vs ricavato dai dati del pozzo preso di riferimento

Stratigrafia sismografica di riferimento

Strato	Profondità [m]	Litologia	Velocità delle onde Vs [m/s]
1	0,0 – 1,0	Riporto	181,16
2	1,0 – 3,0	Limo argilloso-sabbioso	176,99
3	3,0 – 5,0	Ghiaia sabbiosa eterometrica	214,36
4	5,0 – 8,0	Ghiaia sabbiosa eterometrica	189,87
5	8,0 – 12,0	Ghiaia sabbiosa eterometrica	237,11
6	12,0 – 15,0	Ghiaia sabbiosa eterometrica	277,78
7	15,0 – 19,0	Sabbia prevalentemente grossolana ghiaiosa a fine limosa	317,46
8	19,0 – 27,0	Sabbia prevalentemente grossolana ghiaiosa a fine limosa	387,97
9	27,0 – 35,0	Sabbia prevalentemente grossolana ghiaiosa a fine limosa	454,03
10	35,0 – 37,0	Arenaria con ghiaia e ghiaetto	479
11	37,0 – 50,5	Argilla leggermente sabbiosa rossiccia	504
12	50,5 – 53,5	Argilla sabbiosa gialla	564
13	53,5 – 57,5	Ghiaia e sabbia con ciottoli	585
14	57,5 – 60,5	Conglomerato fessurato	649
15	60,5 – 77,0	Argilla limosa gialla	765
16	77,0 – 84,0	Sabbia fine gialla	779
17	>84,0	Argilla azzurra (Basamento sismico)	800

Il basamento sismico è stato trovato a 84,0 m dal piano campagna.

7.1.2 ACCELERAZIONE DI BASE A(G)

Le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione, definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa ag in condizioni di campo libero su sito di riferimento con superficie topografica orizzontale (di categoria A), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente Se(T), con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR nel periodo di riferimento VR.

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

ag accelerazione orizzontale massima al sito;

Per il calcolo dei parametri sopra citati sono stati considerati i seguenti parametri:

- **Classe II**: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti. CU = 1.0;

- **Vita nominale dell'opera VN**: intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata (da questo valore viene calcolato il Periodo di riferimento per l'azione sismica VR come:

$$VR=VN \times CU$$

  dove CU è il coefficiente d'uso);

- **Probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR**: in funzione dello stato limite di riferimento.

Vita nominale (Vn): 50 [anni]

Classe d'uso: II

Coefficiente d'uso (Cu): 1,0

Periodo di riferimento (Vr): 50 [anni]

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,023	2,528	0,181
SLD	50	0,030	2,526	0,205
SLV	475	0,067	2,587	0,283
SLC	975	0,086	2,594	0,294

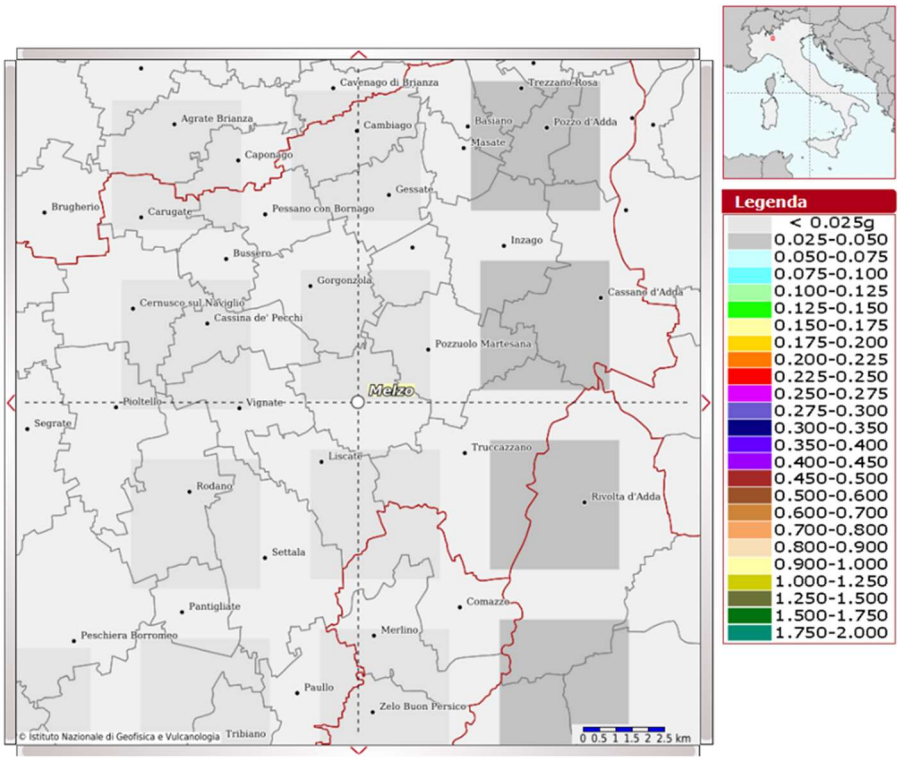
7.1.3 *DATI DI DISAGGREGAZIONE*

Per l'estrazione degli accelerogrammi di input bisogna conoscere, oltre ai valori di ag, i dati di disaggregazione, ovvero le coppie di intervallo magnitudo - distanza che concorrono a determinare la pericolosità sismica di sito.

I dati di disaggregazione sono stati ricavati dal sito dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia e sono riportati nelle figure seguenti.

In particolare, per lo stato **limite SLO** è selezionata una probabilità del **81% in 50anni**, per lo stato **limite SLD** è stata selezionata una **probabilità del 63%,** per lo **stato limite SLV** è stata selezionata una probabilità del 10% in 50 anni e per lo **stato limite SLC** è stata selezionata una **probabilità del 5% in 50anni**.

7.1.3.1 STATO LIMITE SLO



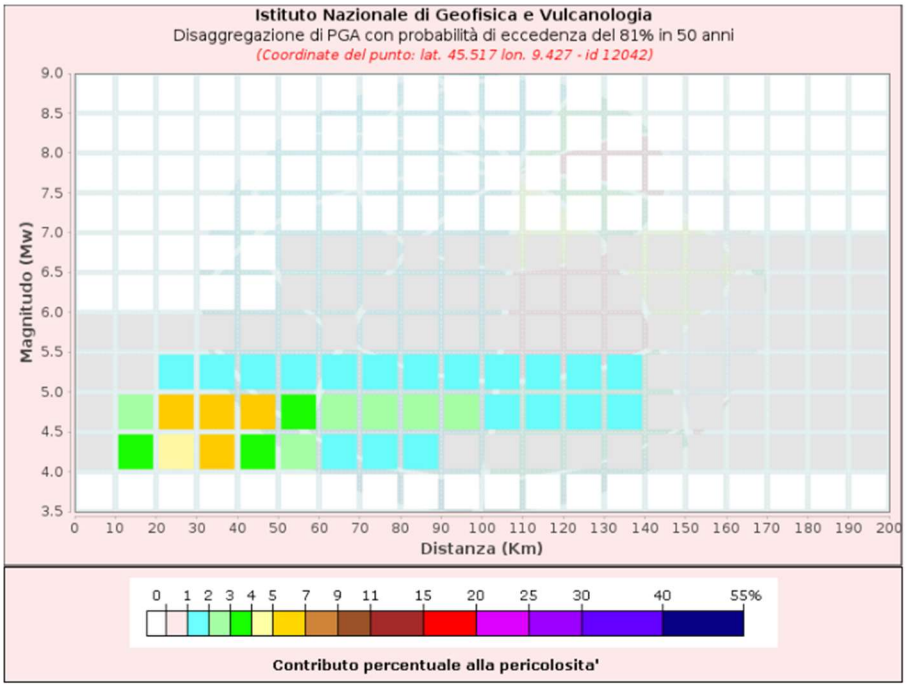
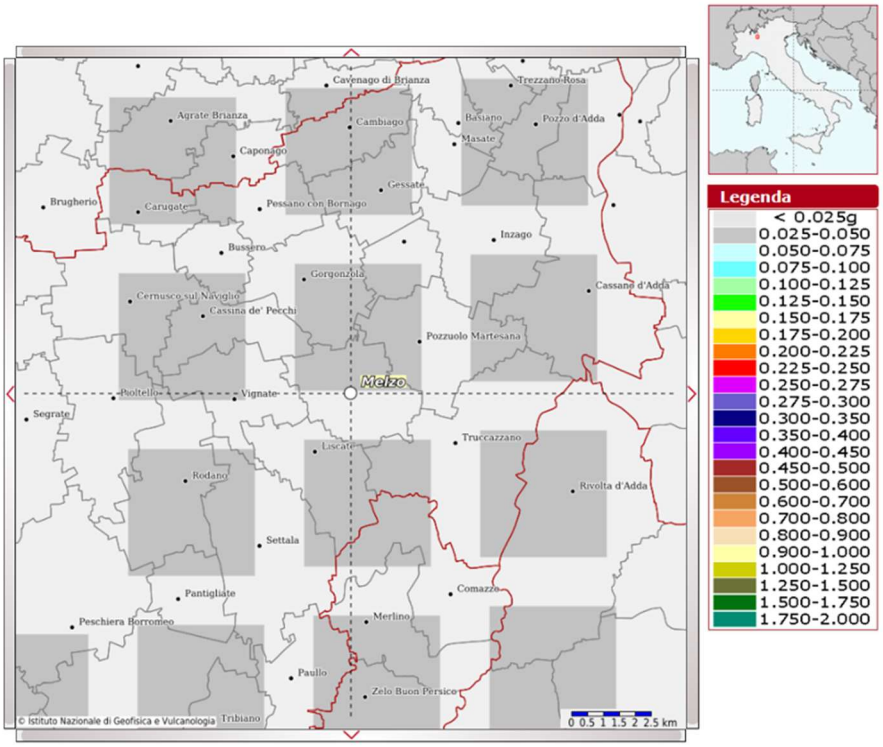


Figura 45 - Disgregazione SLO

7.1.3.2 STATO LIMITE SLD



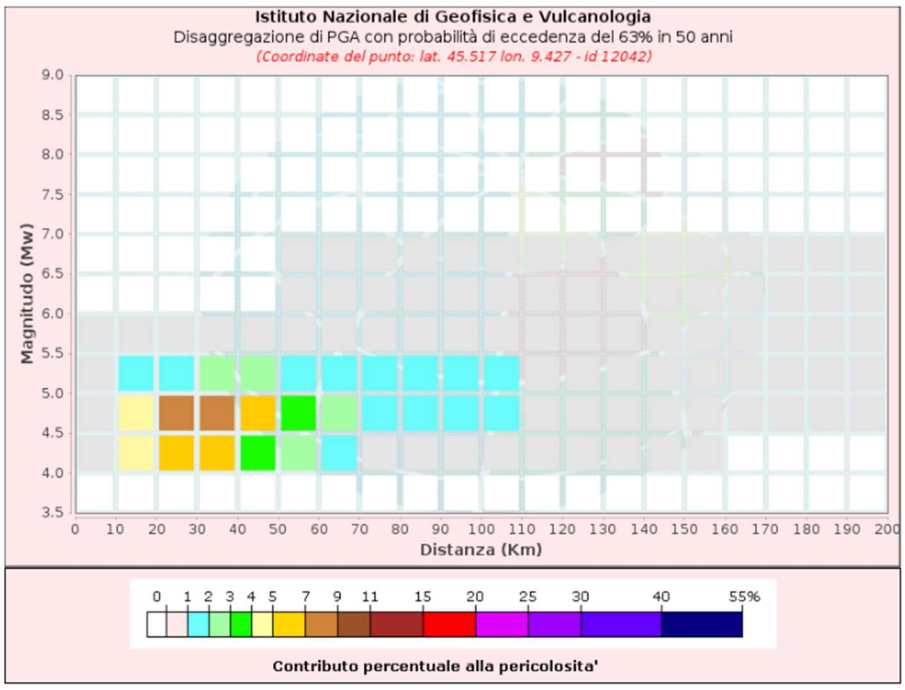
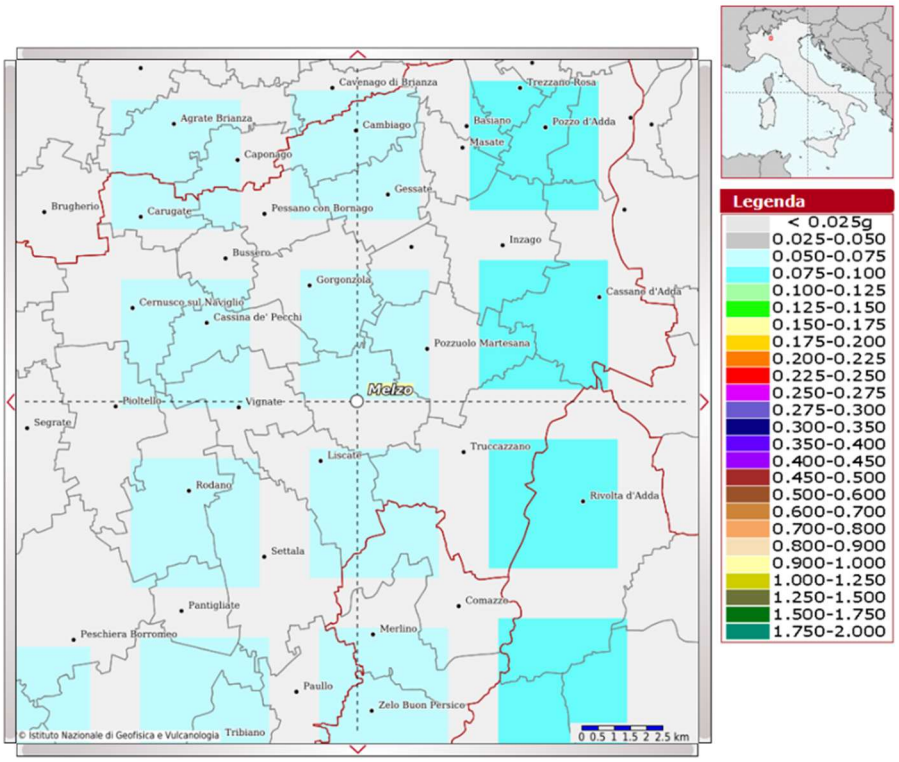


Figura 46 - Disgregazione

7.1.3.3 STATO LIMITE SLV



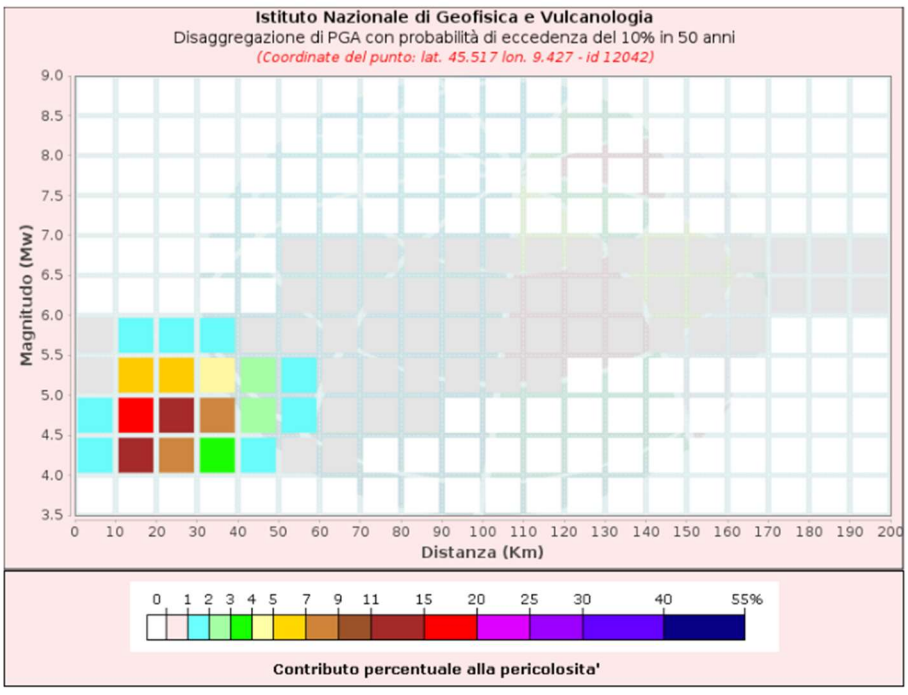


Figura 47 - Disgregazione SLV

7.1.3.4 STATO LIMITE SLC

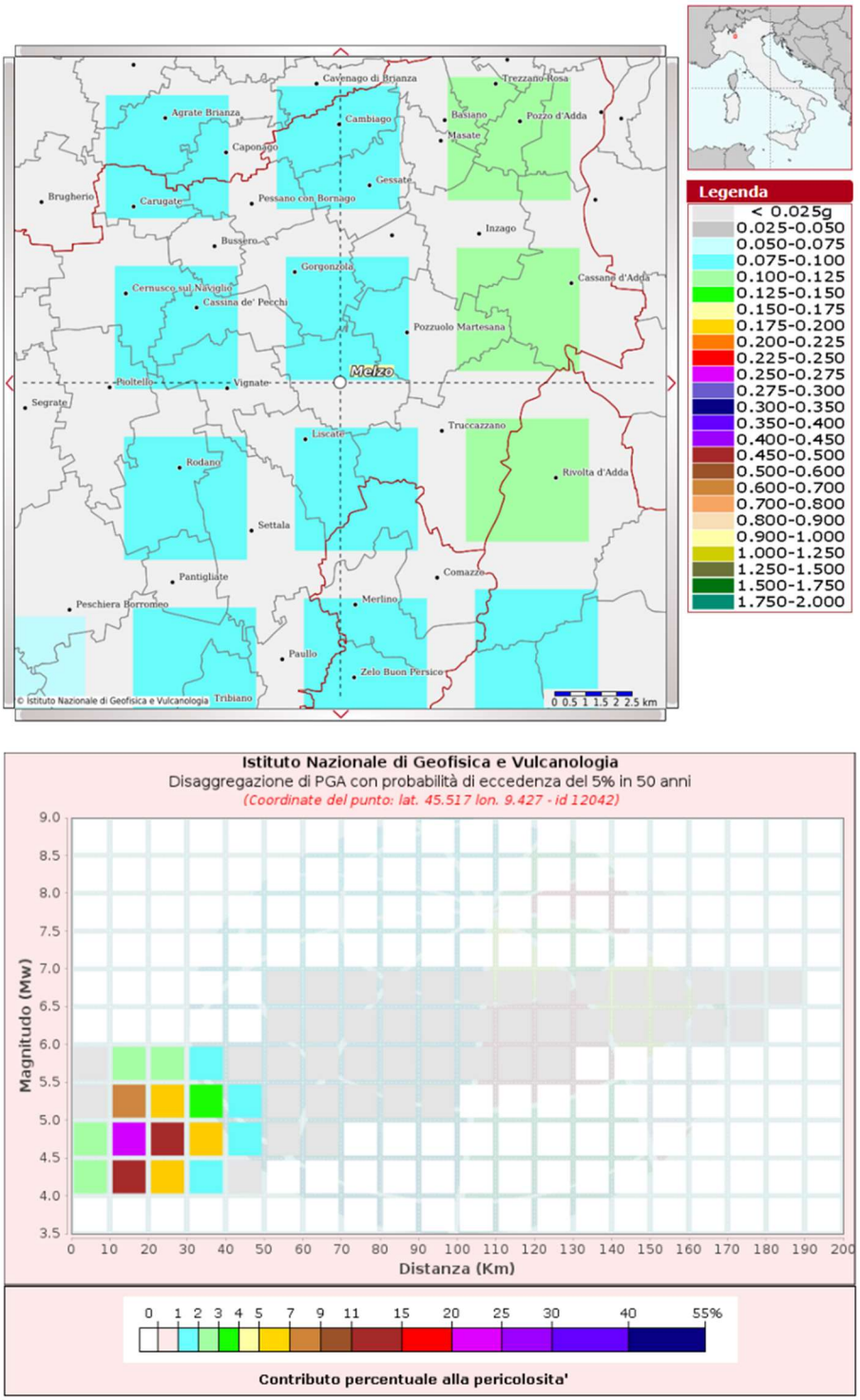


Figura 48 - Disgregazione SLC

7.1.4 ESTRAZIONE ACCELEROGRAMMI DI INPUT

Partendo dai dati di accelerazione di base e disaggregazione ricavati precedentemente, è stato possibile avviare l''estrazione degli accelerogrammi di input naturali. A tale scopo è stato utilizzato il software di riferimento Rexel V 3.5, messo a punto dalla ReLUIS di Napoli. Il software permette l'estrazione di accelerogrammi di input naturali per applicazioni ingegneristiche da più banche dati, tra le quali la banca dati europea ESD (Amvreaseys et al., 2004), la banca dati italiana ITACA (Working Group ITACA, 2010) e la banca dati Simbad (Smerzini e Paolucci, 2011). Inseriti i dati di partenza raccolti precedentemente (accelerazione di base e disaggregazione) è stato possibile quindi ricavare 7 accelerogrammi naturali, che sono poi stati utilizzati per l'esecuzione dell'analisi della Risposta Sismica Locale.

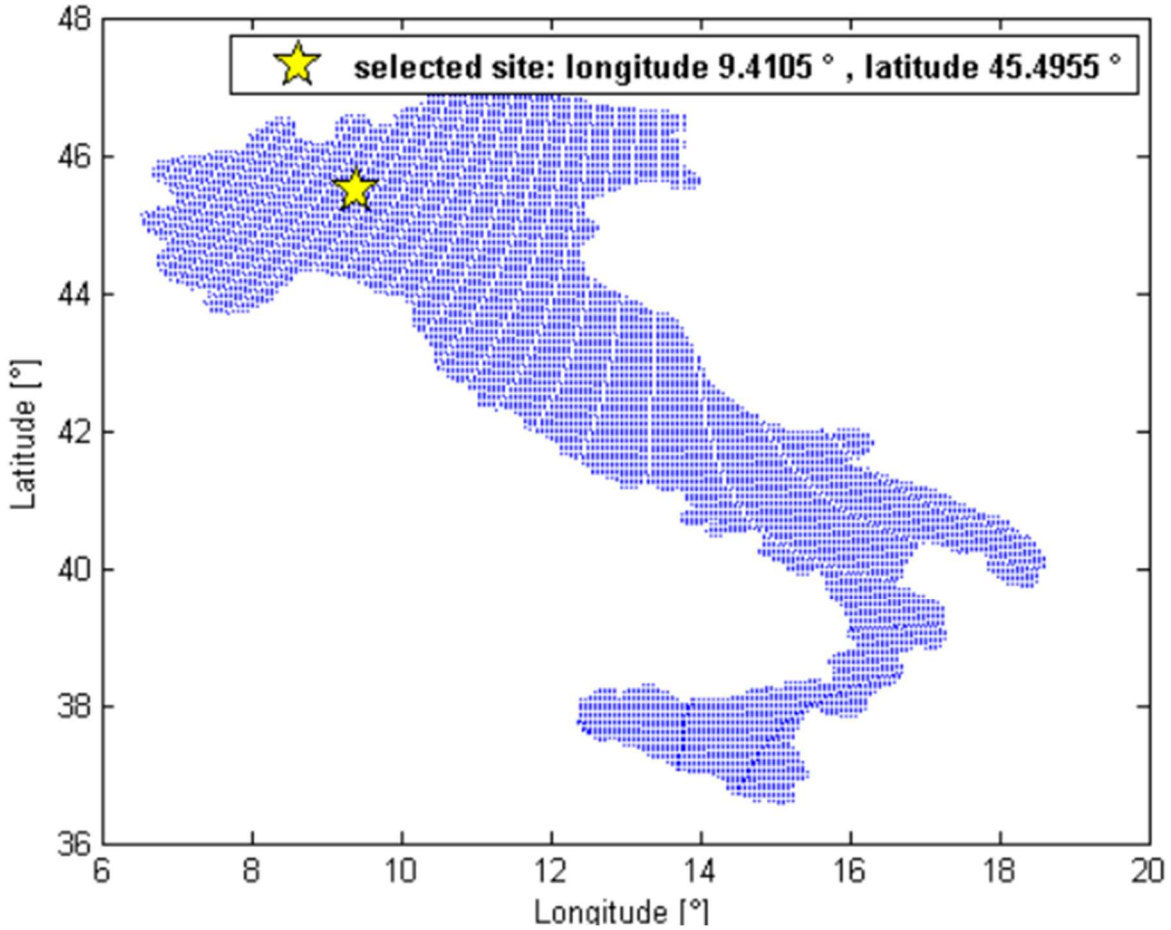


Figura 49 - Ubicazione area di analisi

7.1.4.1 STATO LIMITE SLO

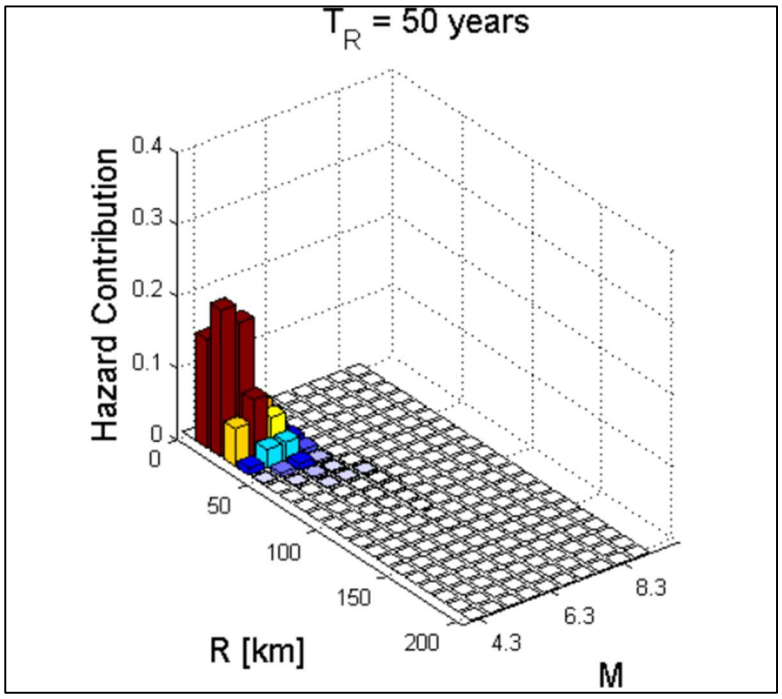


Figura 50 - Raggio – Magnitudo – Area di analisi allo SLO

7.1.4.2 STATO LIMITE SLD

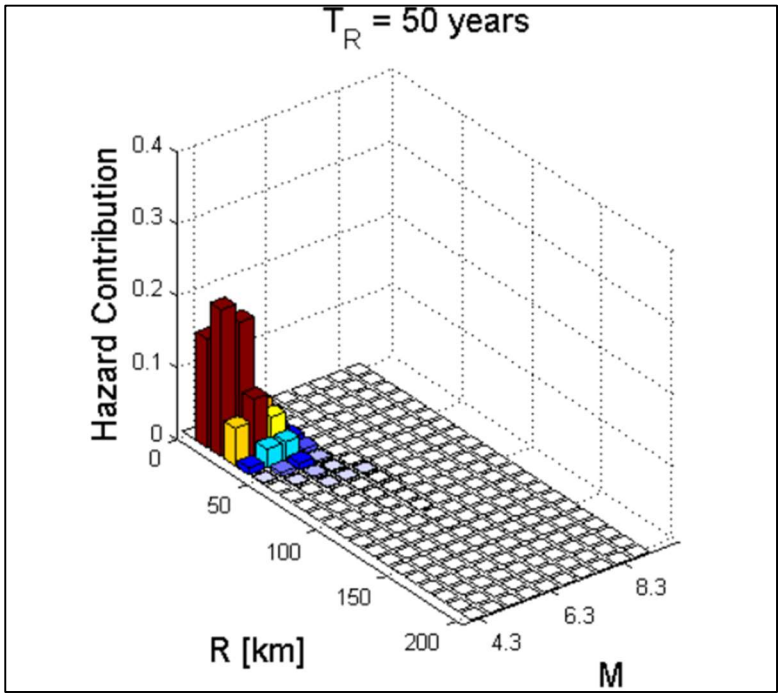


Figura 51 - Raggio – Magnitudo – Area di analisi allo SLD

7.1.4.3 STATO LIMITE SLV

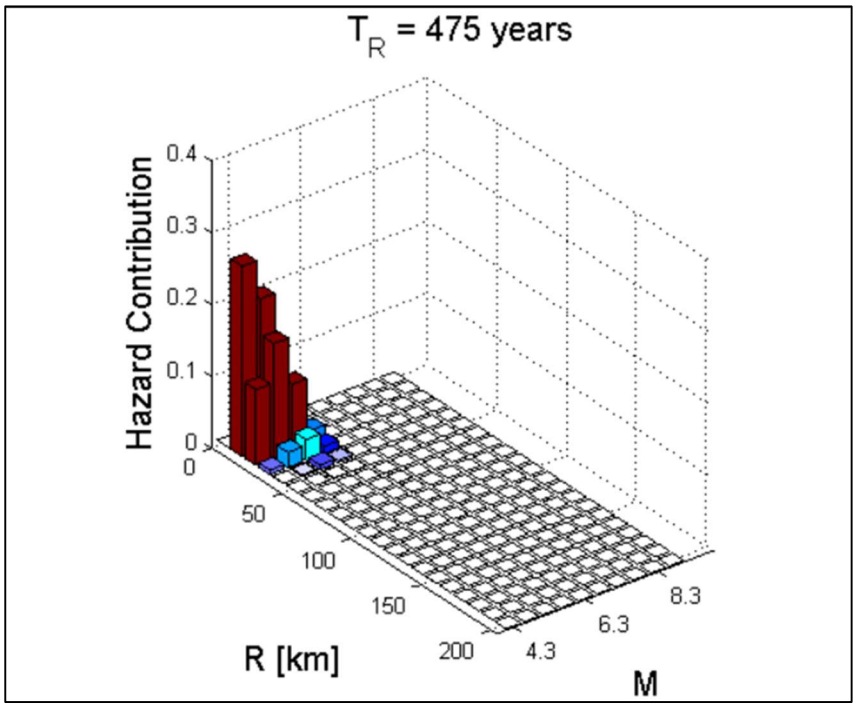


Figura 52 - Figura 51 - Raggio –Magnitudo –Area di analisi allo SLV

7.1.4.4 STATO LIMITE SLC

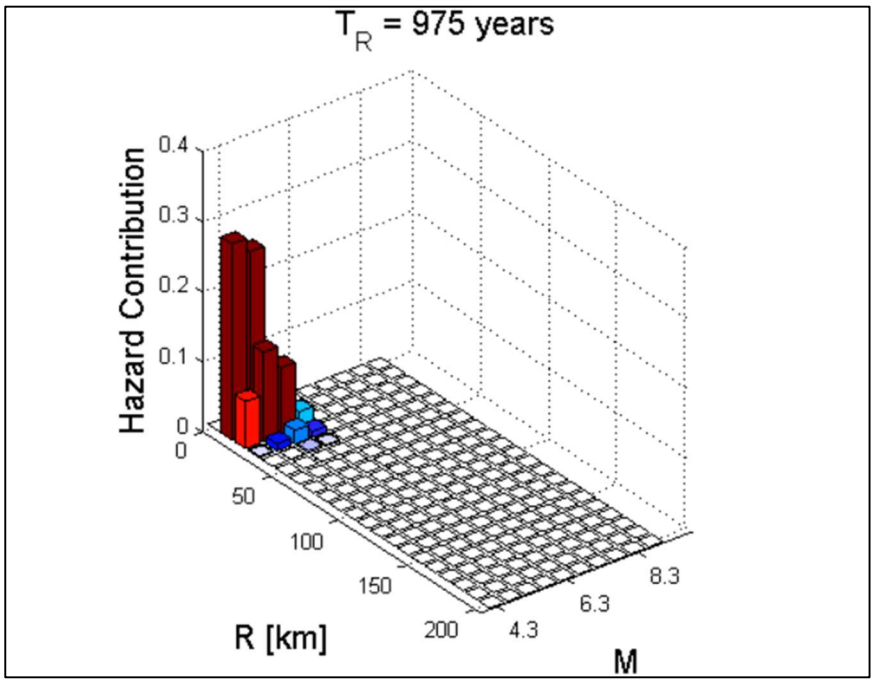


Figura 53 - Figura 51 - Raggio –Magnitudo –Area di analisi allo SLC

La valutazione della risposta sismica locale è stata valutata utilizzando il programma RSLIII (Geostru). Partendo dagli accelerogrammi ricavati da Rexel V 3.5, sono stati valutati gli accelerogrammi di progetto.
Si riporta di seguito la procedura utilizzata, rimandano ai capitoli seguenti la valutazione dei risultati.

7.1.5 PROCEDURA DI CALCOLO

La procedura di calcolo adoperata dal software RSL per la valutazione della funzione di trasferimento presuppone come base di partenza uno o più accelerogrammi e la conoscenza della stratigrafia del sito attraverso i seguenti parametri geotecnici per ogni strato:

- peso per unità di volume;
- velocità di propagazione delle onde di taglio;
- coefficiente di spinta laterale;
- spessore;
- indice di plasticità.

La non linearità del calcolo è introdotta dalla dipendenza del modulo di deformazione al taglio e del coefficiente di smorzamento viscoso dalla deformazione.
Schematicamente la procedura è riassumibile nel seguente modo:

- Valutazione dello spettro di Fourier dell'accelerogramma (omessa nel caso si debba analizzare uno spettro);
- Ricerca di un errore relativo piccolo seguendo la procedura di:
  - Stima della funzione di trasferimento;
  - Valutazione della deformazione indotta in ciascuno strato;
  - Correzione del modulo di deformazione al taglio e del coefficiente di smorzamento viscoso per ogni strato;

  Le prime 3 operazioni sono ripetute fino a quando la differenza di deformazione tra un'iterazione e la precedente non rimane al di sotto di una soglia ritenuta accettabile;

- Trasformazione inversa di Fourier dello spettro precedentemente calcolato ed opportunamente pesato per mezzo della funzione di trasferimento calcolata.

Attraverso questa procedura è possibile "trasferire" l'accelerogramma dal bedrock in superficie. La deformazione per ciascuno strato viene corretta sulla base del rapporto fra deformazione effettiva e massima come suggerito dalla letteratura scientifica, ovvero

$$\frac{\gamma_{eff}}{\gamma_{max}} = \frac{M-1}{10}$$

dove M rappresenta la magnitudo del sisma.

Per la valutazione della funzione di trasferimento, RSL considera un suolo variamente stratificato composto da N strati orizzontali di cui l'N-esimo è il letto di roccia (bedrock). Ponendo come ipotesi che ciascuno strato si comporti come un solido di Kelvin-Voigt $\left[\tau = G\gamma + \eta \frac{\partial \gamma(z,t)}{\partial z \partial t}\right]$, la propagazione delle onde di taglio che attraversano gli strati verticalmente può essere definita dall'equazione dell'onda:

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = G \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \eta \frac{\partial^3 u}{\partial z^2 \partial t} \quad (1)$$

dove: u rappresenta lo spostamento; t il tempo; ρ la densità; G il modulo di deformazione al taglio; η la viscosità. Per onde armoniche lo spostamento può essere scritto come:

$$u(z,t) = U(z)^{i\omega t} \quad (2)$$

che sostituita nella (1) pone

$$(G + i\omega t)\frac{d^2U}{dz^2} = \rho\omega^2 U \quad (3)$$

dove ω rappresenta la frequenza angolare. La (3) può essere riscritta come

$$G^* \frac{d^2U}{dz^2} = \rho\omega^2 U \tag{4}$$

avendo posto $G^* = G + i\omega\eta$, ovvero il modulo di deformazione al taglio complesso. Questo può essere ulteriormente riscritto come

$$G^* = G(1 + 2i\xi) \tag{5}$$

avendo posto

$$\eta = \frac{2G}{\omega}\xi \tag{6}$$

dove ξ rappresenta il coefficiente di smorzamento viscoso. Ciò posto, e fatta convenzione che l'apice * indica la natura complessa delle variabili in gioco, la soluzione dell'equazione generica dell'onda è la seguente:

$$u(z,t) = Ee^{i(\omega t + k^* z)} + Fe^{i(\omega t - k^* z)} \tag{7}$$

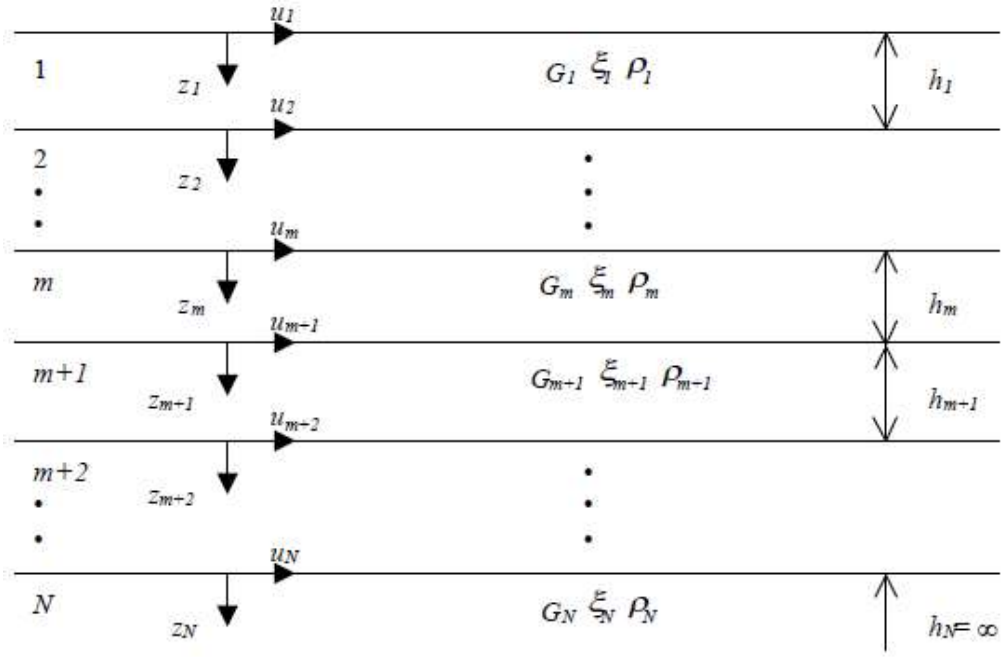


Figura 54- Esempio di stratigrafia per riferimento.

dove E e F dipendono dalle condizioni al contorno e rappresentano l'ampiezza d'onda che viaggia rispettivamente verso l'alto (-z) e verso il basso (+z), mentre k^* rappresenta il numero d'onda complesso dato dalla seguente espressione:

$$k^* = \omega\sqrt{\frac{\rho}{G^*}} \tag{8}$$

Il taglio invece è dato da:

$$\tau(z,t) = G^* \frac{dU}{dz} e^{i\omega t} = ik^* G^* \left[Ee^{i(\omega t + k^* z)} + Fe^{i(\omega t - k^* z)} \right] e^{i\omega t} \tag{9}$$

Per il generico strato m di spessore hm gli spostamenti, rispettivamente in sommità (z = 0) ed al fondo (z = hm), sono:

$$u_m(0,t) = (E_m + F_m) e^{i\omega t} \tag{10}$$

$$u_m(h_m,t) = \left(E_m e^{ik_m^* h_m} + F_m e^{-ik_m^* h_m} \right) e^{i\omega t} \tag{11}$$

Poiché deve essere rispettata la congruenza sullo spostamento all'interfaccia tra gli strati, ovvero lo spostamento in sommità ad uno strato deve essere uguale allo spostamento sul fondo di quello immediatamente sopra, se ne deduce che:

$$u_m\left(z=h_m,t\right)=u_{m+1}\left(z=0,t\right) \tag{12}$$

Usando la (10), (11) e la (12), ne consegue che

$$E_{m+1}+F_{m+1}=E_m e^{ik_m^* h_m}+F_m e^{-ik_m^* h_m} \tag{13}$$

Il taglio in sommità ed al fondo dell'm-esimo strato è dato da:

$$\tau_m\left(0,t\right)=ik_m^* G_m^*\left[E_m-F_m\right]e^{i\omega t} \tag{14}$$

$$\tau_m\left(h_m,t\right)=ik_m^* G_m^*\left[E_m e^{ik_m^* h_m}-Fe^{ik^* h_m}\right]e^{i\omega t} \tag{15}$$

Poiché fra uno strato e l'altro il taglio deve essere continuo si ha

$$\tau_m\left(z=h_m,t\right)=\tau_{m+1}\left(z=0,t\right) \tag{16}$$

ovvero

$$E_{m+1}-F_{m+1}=\frac{k_m^* G_m^*}{k_{m+1}^* G_{m+1}^*}\left(E_m e^{ik_m^* h_m}-F_m e^{-ik_m^* h_m}\right) \tag{17}$$

Sommando la (13) alla (17) e sottraendo la (17) alla (13) si ottiene

$$E_{m+1}=\frac{1}{2}E_m\left(1+\alpha_m^*\right)e^{ik_m^* h_m}+\frac{1}{2}F_m\left(1-\alpha_m^*\right)e^{-ik_m^* h_m} \tag{18}$$

$$F_{m+1}=\frac{1}{2}E_m\left(1-\alpha_m^*\right)e^{ik_m^* h_m}+\frac{1}{2}F_m\left(1+\alpha_m^*\right)e^{-ik_m^* h_m} \tag{19}$$

dove α_m^* rappresenta il coefficiente di impedenza complesso al contorno tra gli strati m ed m+1, ed è dato dalla seguente espressione:

$$\alpha_m^* = \frac{k_m^* * G_m^*}{k_{m+1}^* * G_{m+1}^*} \tag{20}$$

Poiché in superficie il taglio è nullo,

$$\tau_1(0,t) = ik_1^* G_1^* [E_1 - F1] e^{i\omega t} = 0$$

si deduce che E1 = F1.

Le equazioni (18) e (19) possono essere successivamente applicate agli strati successivi da 2 al strato m. La funzione di trasferimento Amn che lega gli spostamenti in sommità degli strati m ed n è definita dalla seguente espressione:

$$A_{mn} = \frac{u_m}{u_n} = \frac{E_m + F_m}{E_n + F_n} \tag{21}$$

Amn rappresenta la funzione di trasferimento, ovvero la funzione che mette in relazione il modulo della deformazione tra i punti m e n. In pratica lo stato deformativo di una stratigrafia rimane definito una volta nota la deformazione di un suo qualsiasi punto. Inoltre, poiché la velocità e l'accelerazione sono legati allo spostamento,

$$\dot{u}(z,t) = \frac{\partial u}{\partial t} = i\omega u(z,t) \qquad \ddot{u}(z,t) = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = -\omega^2 u(z,t) \tag{22}$$

La funzione di trasferimento Amn può essere espressa anche in funzione delle velocità e dell'accelerazione al tetto degli strati n ed m:

$$A_{mn}(\omega) = \frac{u_m}{u_n} = \frac{\dot{u}_m}{\dot{u}_n} = \frac{\ddot{u}_m}{\ddot{u}_n} = \frac{E_m + F_m}{E_n + F_n} \tag{23}$$

La deformazione tangenziale rimane definita alla profondità z e al tempo t dalla relazione:

$$\gamma(z,t) = \frac{\partial u}{\partial z} = ik^*\left(Ee^{ik^+z} - Fe^{-ik^+z}\right)e^{i\omega t} \tag{24}$$

E la corrispondente tensione tangenziale, dalla seguente espressione:

$$\tau(z,t) = G^*\gamma(z,t) \tag{25}$$

Ai fini di una corretta interpretazione del problema della risposta sismica locale, risulta utile riprodurre la rappresentazione schematica della figura seguente in cui è riportata la terminologia utilizzata per lo studio del moto sismico di un deposito che poggia su un basamento roccioso.

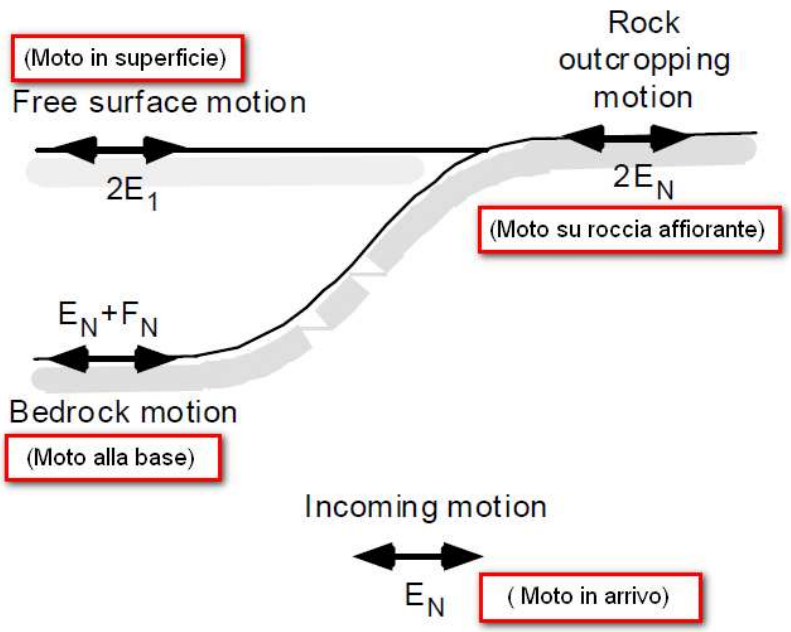


Figura 55 - Schema di riferimento e terminologia utilizzata

Le onde di taglio si propagano verticalmente attraverso il bedrock con ampiezza pari ad EN; al tetto del bedrock, sotto il deposito degli strati di terreno, il moto ha un'ampiezza pari a EN+FN. Sulla roccia affiorante, poiché le tensioni tangenziali sono nulle (EN = FN), il moto avrà ampiezza pari a 2EN. La funzione di trasferimento dal bedrock al bedrock-affiorante è la seguente:

$$A_{NN}(\omega) = \frac{2E_N}{E_N + F_N} \tag{26}$$

A è non lineare poiché G è funzione di γ. Nella procedura di calcolo, infatti, da una stima iniziale del modulo di deformazione al taglio, si ottiene la tensione ipotizzando un legame lineare, per poi ottenere un nuovo valore di γ. Grazie a questo valore aggiornato si valuta un nuovo modulo G così da ripetere la procedura fino a quando la differenza tra la deformazione aggiornata e quella ottenuta dalla precedente iterazione viene ritenuta accettabile. Il modello per G(γ) adoperato è quello suggerito da Ishibashi e Zhang (1993) che tiene conto degli effetti della pressione di confinamento e dell'indice di plasticità:

$$G = G_{max} \cdot K(\gamma, PI)(\sigma'_m)^{m(\gamma,PI)-m_0} \tag{24}$$

$$K(\gamma, PI) = 0.5\left\{1 + tanh\left[ln\left(\frac{0.000102+n(PI)}{\gamma}\right)^{0.492}\right]\right\} \tag{25}$$

$$m(\gamma, PI) - m_0 = 0.272\left\{1 - tanh\left[ln\left(\frac{0.000556}{\gamma}\right)^{0.4}\right]\right\}exp(-0.0145PI^{1.3}) \tag{26}$$

$$n(PI) = \begin{cases} 0.0 & per\ PI = 0 \\ 3.37 \times 10^{-6} PI^{1.404} & per\ 0 < PI \leq 15 \\ 7.0 \times 10^{-7} PI^{1.976} & per\ 15 < PI \leq 70 \\ 2.7 \times 10^{-5} PI^{1.115} & per\ PI > 70 \end{cases} \tag{27}$$

dove G_{max} è dato dalla relazione

$$G_{max} = \rho V_s^2 \tag{28}$$

dove ρ è la densità del terreno e V_s la velocità di propagazione delle onde di taglio nello stesso. La (28) fornisce il valore iniziale di G per la prima iterazione.

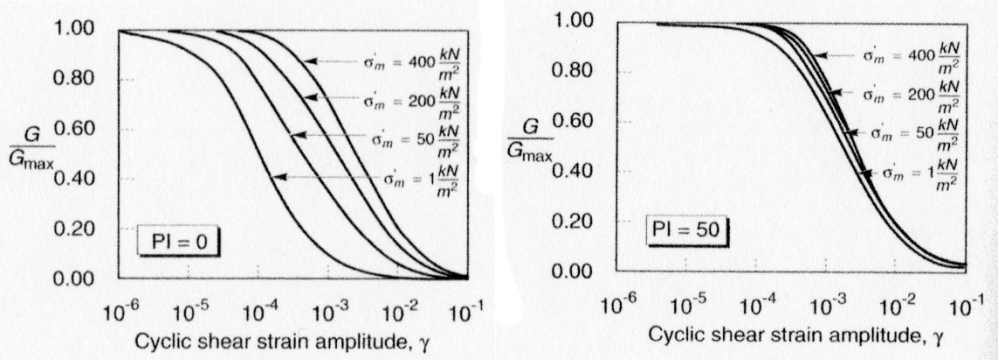


Figura 56 - Influenza della pressione di confinamento e della plasticità sul modulo di deformazione al taglio.

Per quanto riguarda invece il coefficiente di smorzamento viscoso ξ, in conseguenza del modello introdotto dalla (24) si ha:

$$\xi = 0.333 \frac{1+exp\left(-0.0145\, PI^{1.3}\right)}{2}\left[0.586\left(\frac{G}{G_{max}}\right)^2 - 1.547\frac{G}{G_{max}} + 1\right] \tag{29}$$

da cui si deduce che anche ξ deve essere ricalcolato ad ogni iterazione.

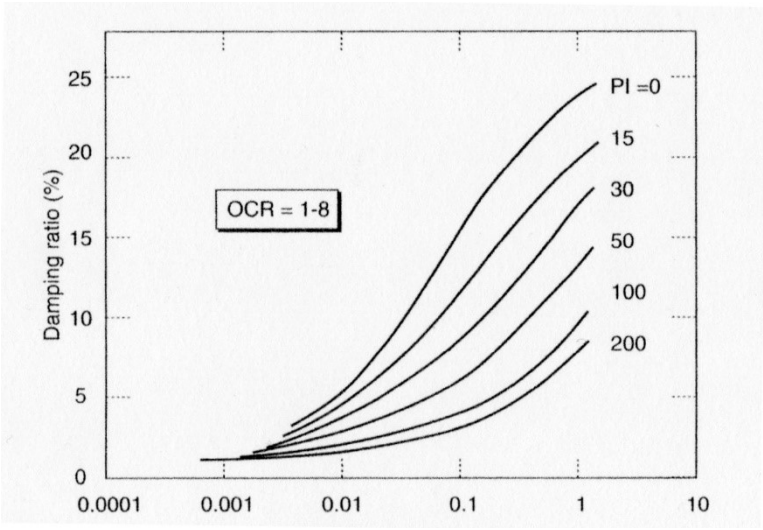


Figura 57 - Influenza della plasticità sul coefficiente di smorzamento viscoso.

7.1.6 VALUTAZIONE DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE

La risposta sismica locale è stata valutata considerando la configurazione attuale del sito.
Le indagini geofisiche sono effettuate in corrispondenza del sito individuato come idoneo per il sito e quindi ritenute attendibili
La sismostratigrafia di riferimento per l'analisi della risposta sismica locale tiene conto del terreno di fondazione naturale:

- Spessore degli strati
- Tipo di materiale, selezionato da quelli presenti in archivio del programma che fanno riferimento a materiali di bibliografia
- Peso per unità di volume
- Velocità delle onde medie di taglio Vs

Partendo da questi parametri, il software ricostruisce la profondità media di ogni strato, la Gmax all'interno dello strato e la tensione verticale.
Per l'assegnazione del tipo di materiale di ogni strato si è fatto riferimento alle indagini geognostiche.
È stato considerato la stratigrafia di riferimento descritta in questa specifica relazione per valutare la risposta sismica locale
Il tipo di materiale per la determinazione delle leggi di variazione del rapporto G/Gmax e del coefficiente di smorzamento in funzione della deformazione a taglio scelto per gli strati del terreno.

7.2 RISULTATI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE

7.2.7 DATI GENERALI

Latitudine 45,4955254[°]

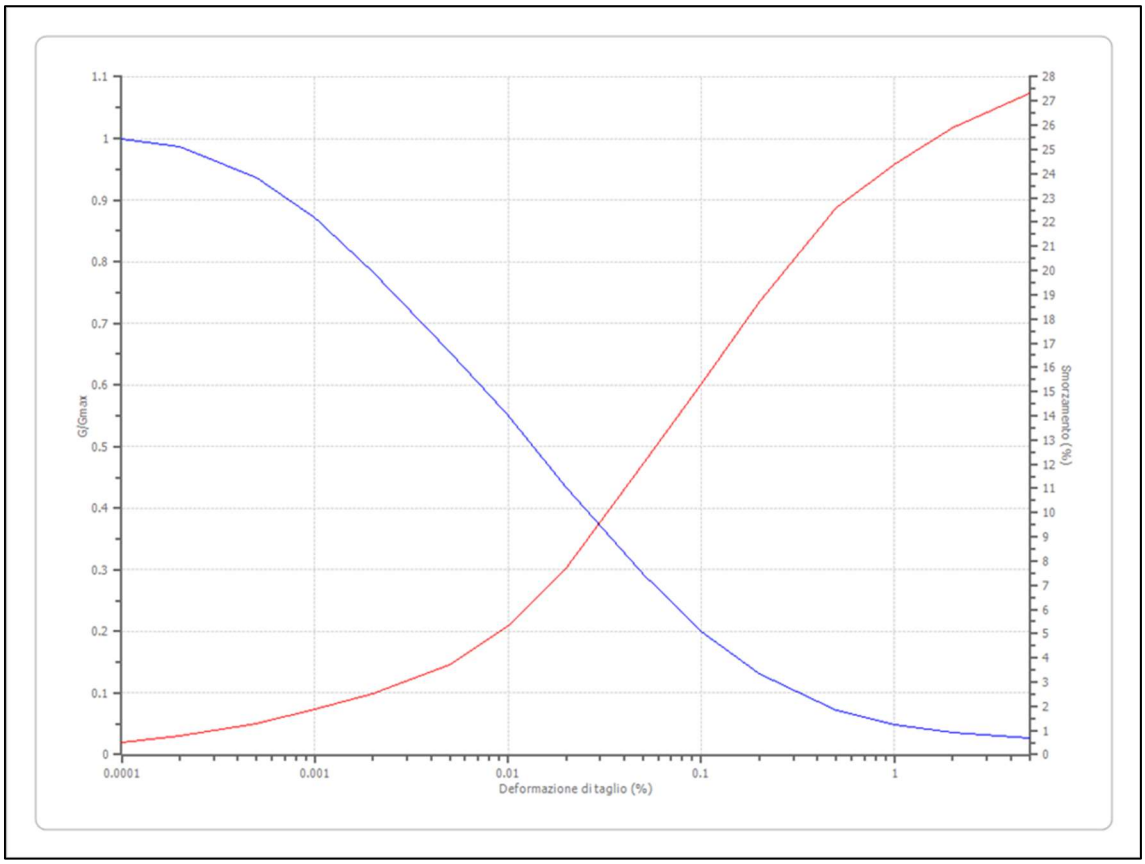
Longitudine 9,410518[°]

Stratigrafia

Le diversi litologie presenti nell'area oggetto di studio sono assimilate nel software ai dati seguenti:

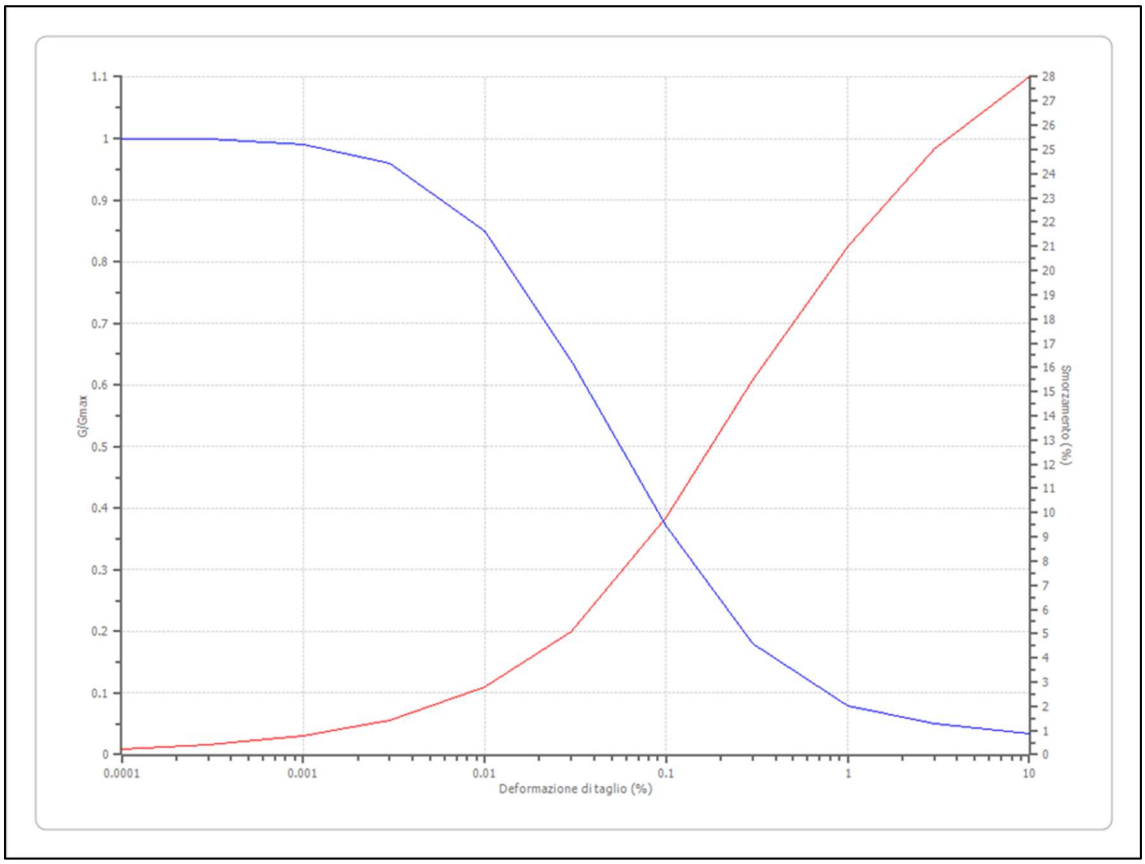
Seed et al. (1986) Gravel

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	0.500
0.0002	0.987	0.0002	0.800
0.0005	0.937	0.0005	1.300
0.001	0.872	0.001	1.900
0.002	0.783	0.002	2.500
0.005	0.653	0.005	3.700
0.010	0.550	0.010	5.300
0.020	0.434	0.020	7.700
0.050	0.293	0.050	12.000
0.100	0.200	0.100	15.300
0.200	0.132	0.200	18.700
0.500	0.072	0.500	22.600
1.000	0.049	1.000	24.400
2.000	0.036	2.000	25.900
5.000	0.027	5.000	27.300



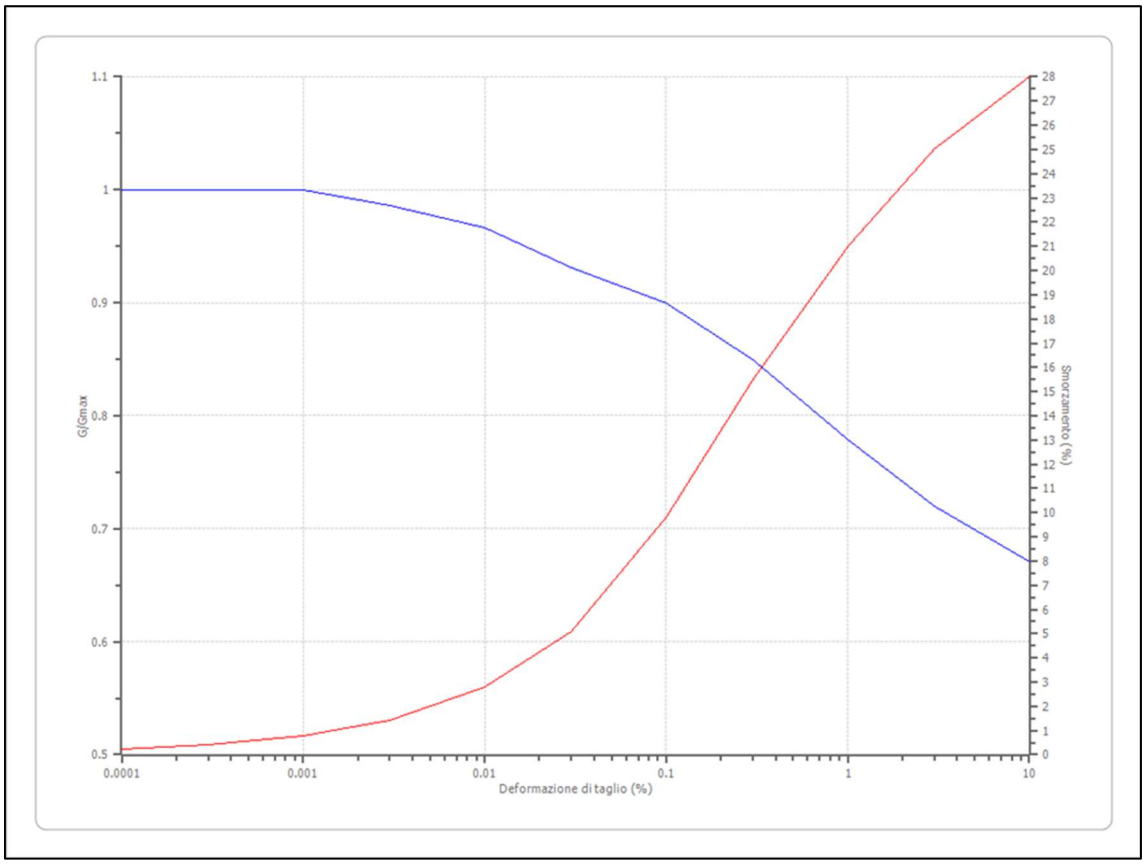
Idriss (1990) Sand (Seed and Idriss 1970)

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	0.240
0.0003	1.000	0.0003	0.420
0.001	0.990	0.001	0.800
0.003	0.960	0.003	1.400
0.010	0.850	0.010	2.800
0.030	0.640	0.030	5.100
0.100	0.370	0.100	9.800
0.300	0.180	0.300	15.500
1.000	0.080	1.000	21.000
3.000	0.050	3.000	25.000
10.000	0.035	10.000	28.000



Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	0.240
0.0003	1.000	0.0003	0.420
0.001	1.000	0.001	0.800
0.003	0.986	0.003	1.400
0.010	0.966	0.010	2.800
0.030	0.931	0.030	5.100
0.100	0.900	0.100	9.800
0.300	0.850	0.300	15.500
1.000	0.779	1.000	21.000
3.000	0.720	3.000	25.000
10.000	0.671	10.000	28.000

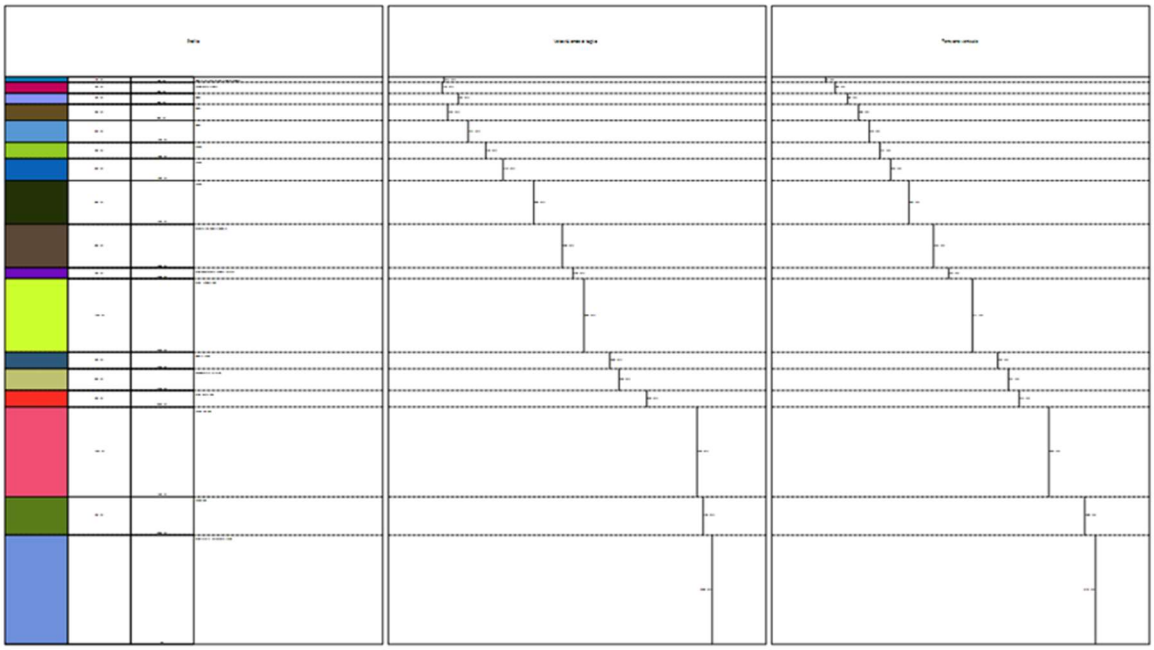

G/Gmax
Smorzamento (%)
Deformazione di taglio (%)
1.1
1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.0001
0.001
0.01
0.1
1
10
28
27
26
25
24
23
22
21
20
19
18
17
16
15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0

Stratigrafia

n.	Descrizione	Prof [m]	Spess [m]	Terreno	Gmax [MPa]	Peso unità vol.	Vs [m/s]	Tensione verticale
1	Riporto costituito da limo argilloso-sabbioso	--	1.0	Idriss (1990) Sand (Seed and Idriss 1970)	63.59	19.0	181.2	9.5
2	Sabbie limose argillose	1.0	2.0	Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)	60.68	19.0	177.0	38.0
3	Ghiaia	3.0	2.0	Seed et al. (1986) Gravel	89.03	19.0	214.4	76.0
4	Ghiaia	5.0	3.0	Seed et al. (1986) Gravel	69.84	19.0	189.9	108.8
5	Ghiaia	8.0	4.0	Seed et al. (1986) Gravel	108.88	19.0	237.1	141.0
6	Sabbia	12.0	3.0	Idriss (1990) Sand (Seed and Idriss 1970)	149.47	19.0	277.8	173.1
7	Sabbia	15.0	4.0	Idriss (1990) Sand (Seed and Idriss 1970)	195.24	19.0	317.5	205.3
8	Sabbia	19.0	8.0	Idriss (1990) Sand (Seed and Idriss 1970)	291.57	19.0	388.0	260.4
9	Arenaria con ghiaia e ghiaietto	27.0	8.0	Idriss (1990) Sand (Seed and Idriss 1970)	399.21	19.0	454.0	333.9
10	Argilla leggermente sabbiosa rocciccia	35.0	2.0	Seed et al. (1986) Gravel	444.38	19.0	479.0	379.9
11	Argilla sabbiosa gialla	37.0	13.5	Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)	491.98	19.0	504.0	451.1
12	Ghiaia e sabbia	50.5	3.0	Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)	616.09	19.0	564.0	526.9
13	Conglomerato fessurato	53.5	4.0	Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)	662.82	19.0	585.0	559.1
14	Argilla limosa gialla	57.5	3.0	Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)	815.78	19.0	649.0	591.3
15	Sabbia fine gialla	60.5	16.5	Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)	1133.46	19.0	765.0	680.9
16	Sabbia gialla	77.0	7.0	Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)	1175.33	19.0	779.0	788.8
17	Argilla azzurra (basamento sismico)	oo	--	Smorzamento costante	1239.55	19.0	800.0	821.0

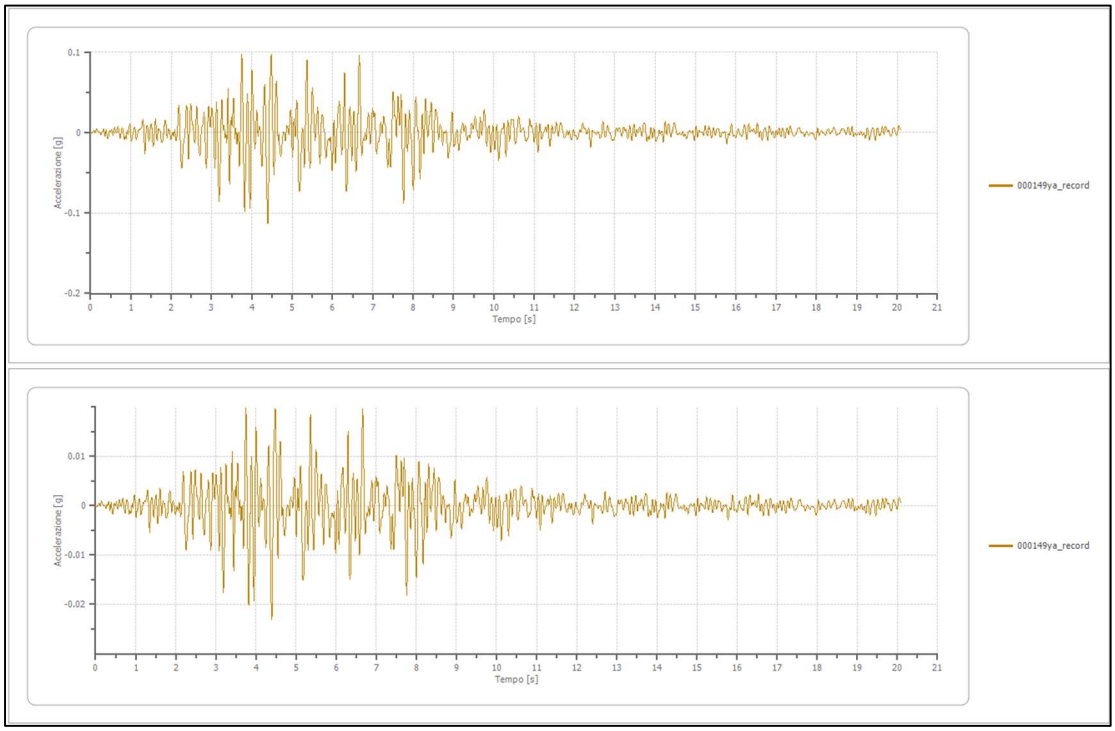
Strato con falda: 3

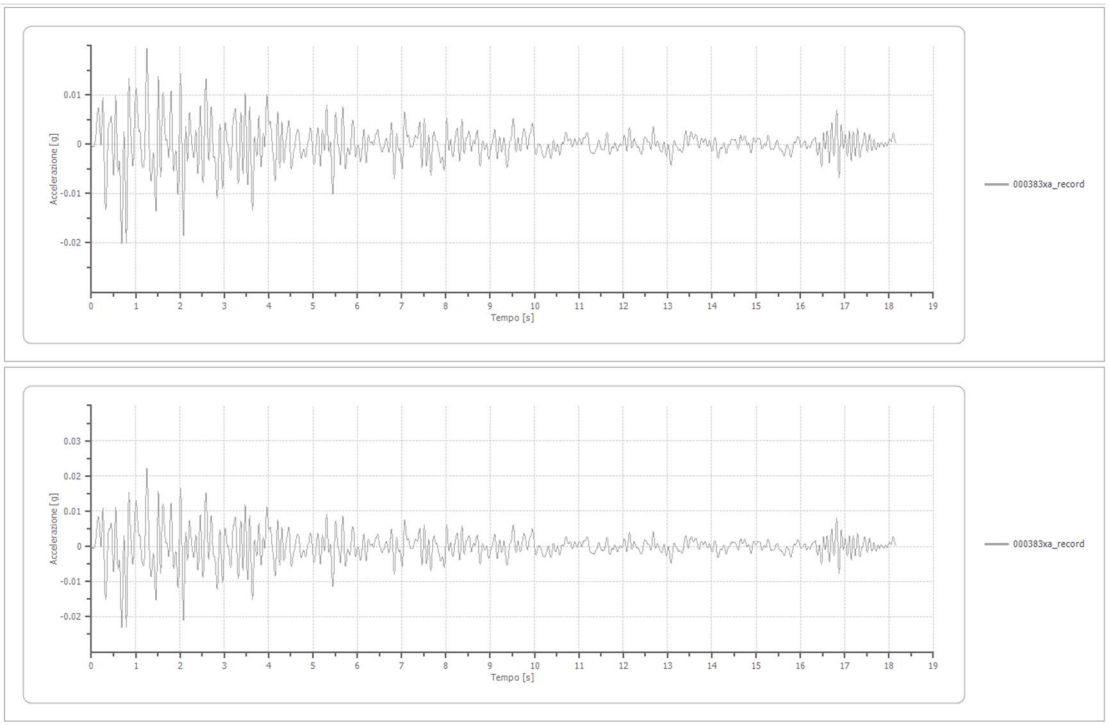
Strato rilevamento accelerogramma: 17 Interno

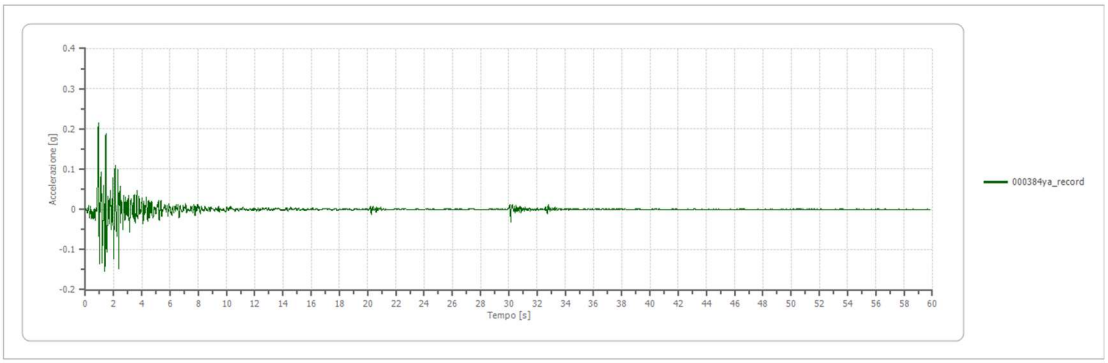


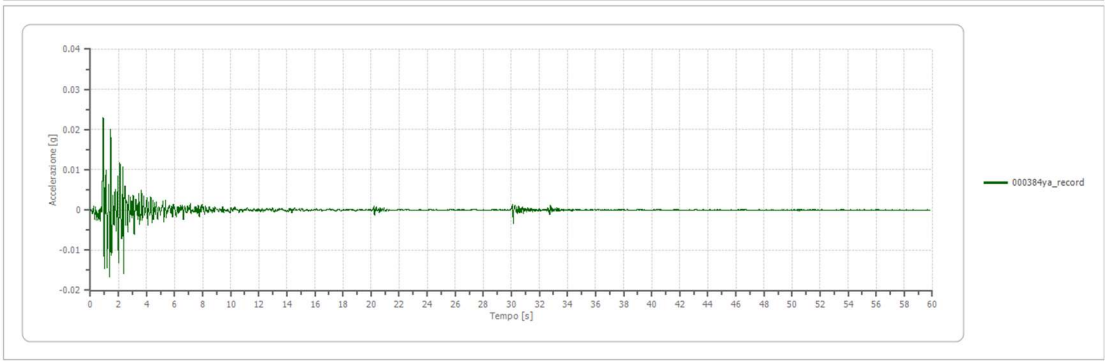
7.2.8 MODELLO REALIZZATO CON GLI 7 ACCELEROGRAMMI ALLO SLO

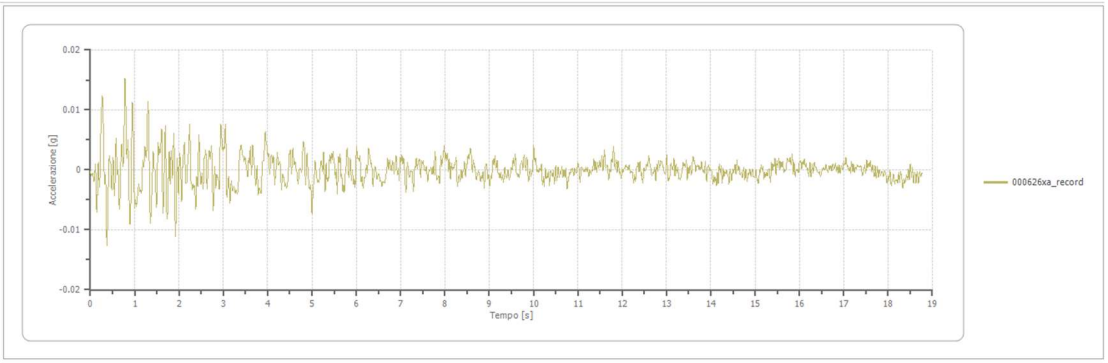
Nelle immagini seguenti si riportano gli accelerogrammi ricavati da rexel v3.5.

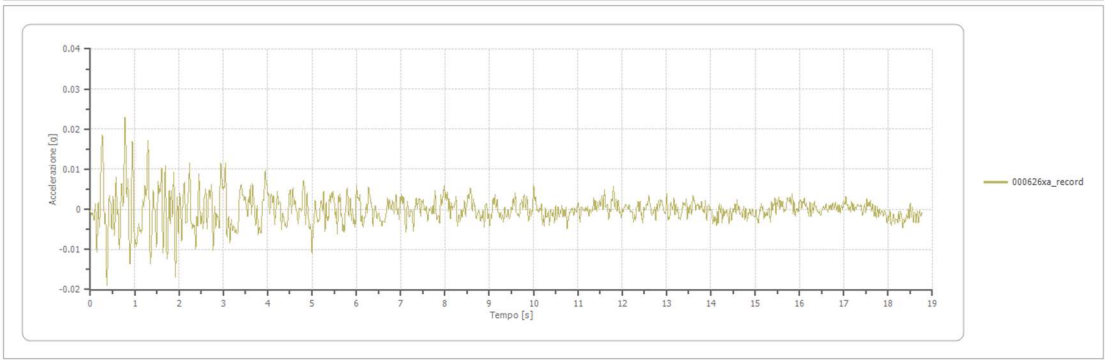


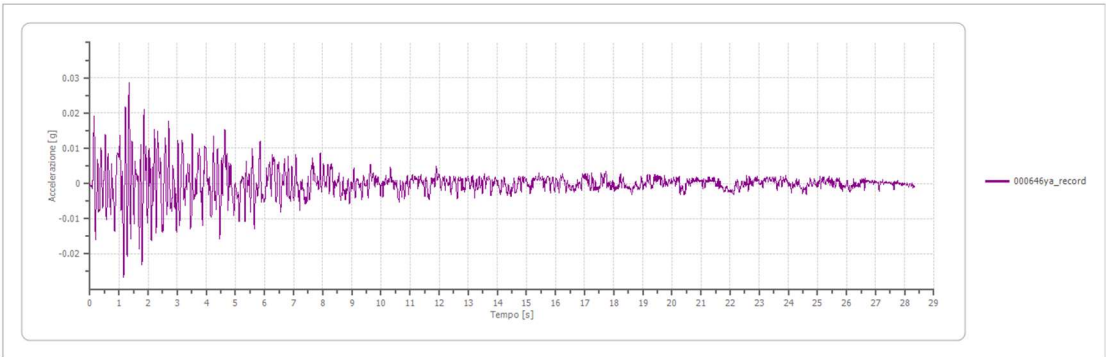


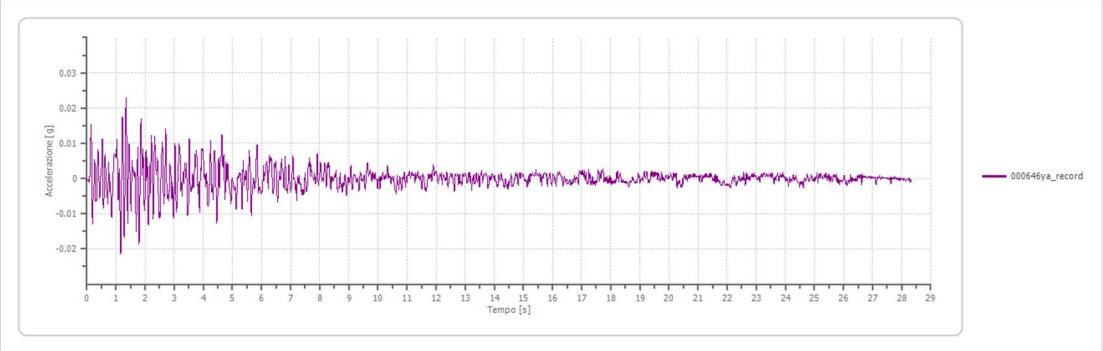

Accelerazione [g]
Tempo [s]
000384ya_record

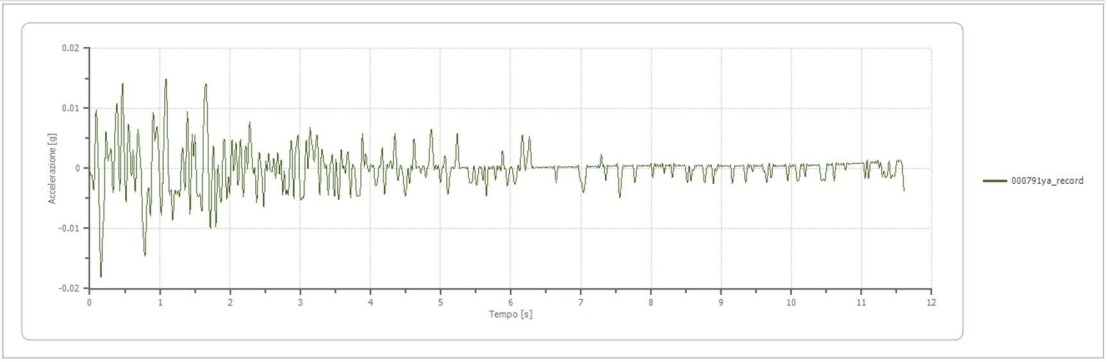

Accelerazione [g]
Tempo [s]
000384ya_record

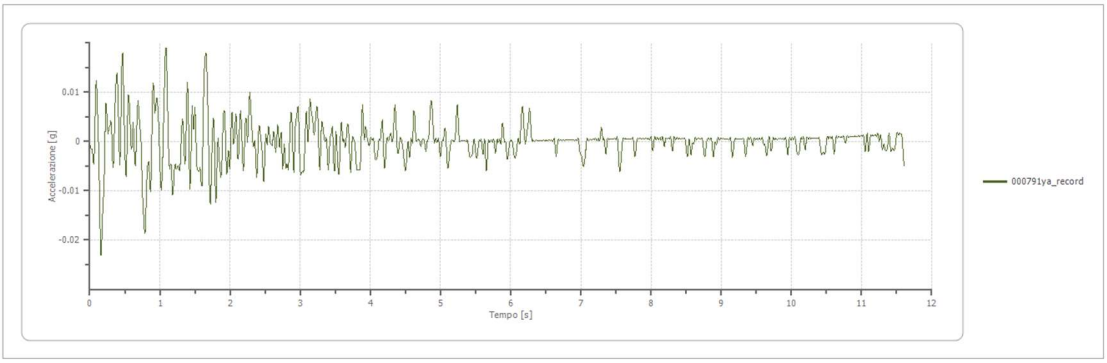

Accelerazione [g]
Tempo [s]
000626xa_record

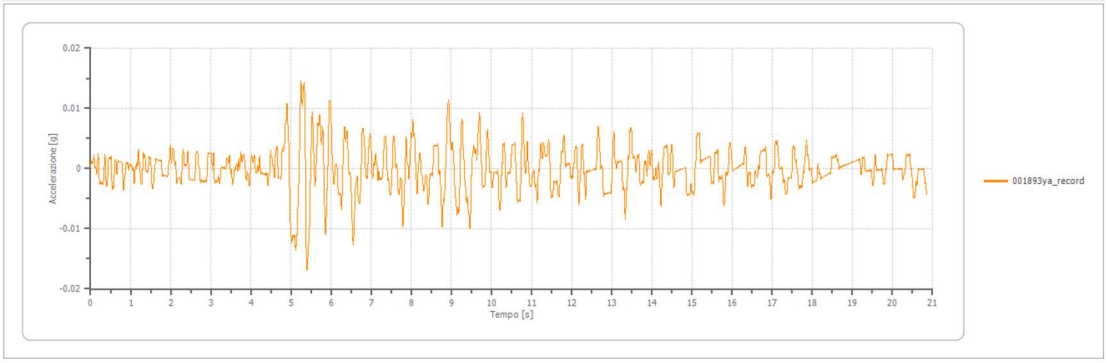

Accelerazione [g]
Tempo [s]
000626xa_record

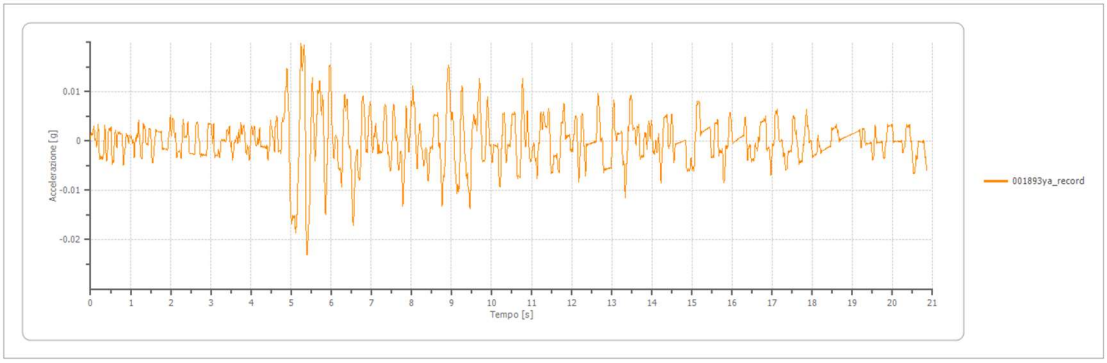

Accelerazione [g]
Tempo [s]
000646ya_record


Accelerazione [g]
Tempo [s]
000646ya_record


Accelerazione [g]
Tempo [s]
000791ya_record


Accelerazione [g]
Tempo [s]
000791ya_record





RISULTATO DEL MODELLO

- Elaborazione

Numero di iterazioni 50

Rapporto tra deformazione a taglio effettiva e deformazione massima 0.5

Tipo di modulo elastico Shake

Massimo errore percentuale di convergenza 1.55 E-04

- Fattori di amplificazione ICMS 2018

Tai	0.140	[s]
Tvi	0.580	[s]
Tao	0.130	[s]
Tvo	0.680	[s]
Sami	0.569	[m/s²]
Svmi	0.022	[m/s]
Samo	0.660	[m/s²]
Svmo	0.024	[m/s]
Fa	**1.161**	**[-]**
Fv	**1.071**	**[-]**
TB	0.075	[s]
TC	0.224	[s]
TD	1.678	[s]
SA(0)	0.020	[g]
SA(TB)	0.067	[g]

I fattori di amplificazione sono così determinati:

1. Si determina il periodo di massimo valore dello spettro medio di input TAi e dello spettro medio di output TAo;

2. Si ricavano i valori medi degli spettri di input (SAm,i) e di output (SAm,o) nell'intorno di TAi e di TAo come

$$SA_m = \frac{1}{TA}\int_{0.5TA}^{1.5TA} SA\ (T)dT$$

dove SA è lo spettro medio (SAi di input, SAo di output)

3. Si determinano i periodi proprio TVi e TVo per il quale sono massimi gli spettri di pseudovelocità

$$SV(T) = SA(T)\frac{T}{2\pi}$$

dove SV è lo spettro medio di pseudovelocità (SVi di input, SVo di output)

4. Si calcolano i valori medi degli spettri medi di pseudovelocità o nell'intorno di TVi e di TVo

$$SV_m = \frac{1}{0.4TV}\int_{0.8TV}^{1.2TV} SV\ (T)dT$$

dove SVi è lo spettro medio di pseudovelocità di input ed SVo è lo spettro medio pi pseudovelocità di output.

5. Il valore di FA è pari a

$$FA = \frac{SA_{m,o}}{SA_{m,i}}$$

6. Il valore di FV è pari a

$$FV = \frac{SV_{m,o}}{SV_{m,i}}$$

Per determinare i valori dello spettronormalizzato valgono le seguenti relazioni:

Periodo TC:

$$T_c = \frac{SV_{m,i} FV}{SA_{m,i} FA}$$

Periodo TB:

$$T_B = \frac{1}{3} T_C$$

Valori dello spettro in 0 e in TB

$$SA(0) = SA_i(0) * FA$$
$$SA(T_B) = SA_{m,i} * FA$$

Il ramo dello spettro ad accelerazione spettrale costante, tra TB e TC, ha ordinata pari a SAm,i*FA

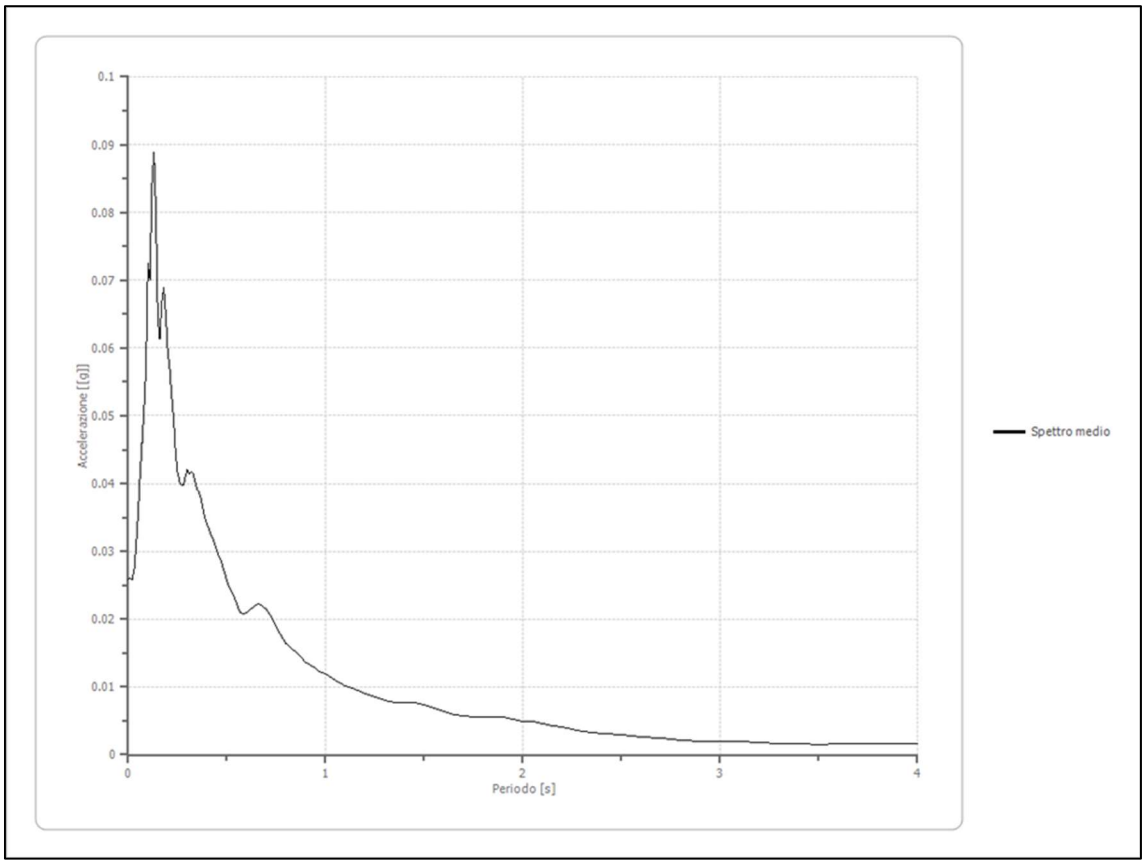
Il ramo dello spettro a velocità costante (T>TC) ha ordinate pari a SAm,i*FA*(TC/T)

- **Fattori di amplificazione su intensità spettrale**

Periodo minino [s]	Periodo massimo [s]	Int. Housner input [m]	Int. Housner output [m]	Int. Housner input/output [m]	FA
0.100	0.500	0.007	0.008	0.200	1.083
0.400	0.800	0.009	0.009	0.500	1.054
0.700	1.100	0.008	0.009	0.636	1.093
0.500	1.500	0.020	0.022	0.333	1.074

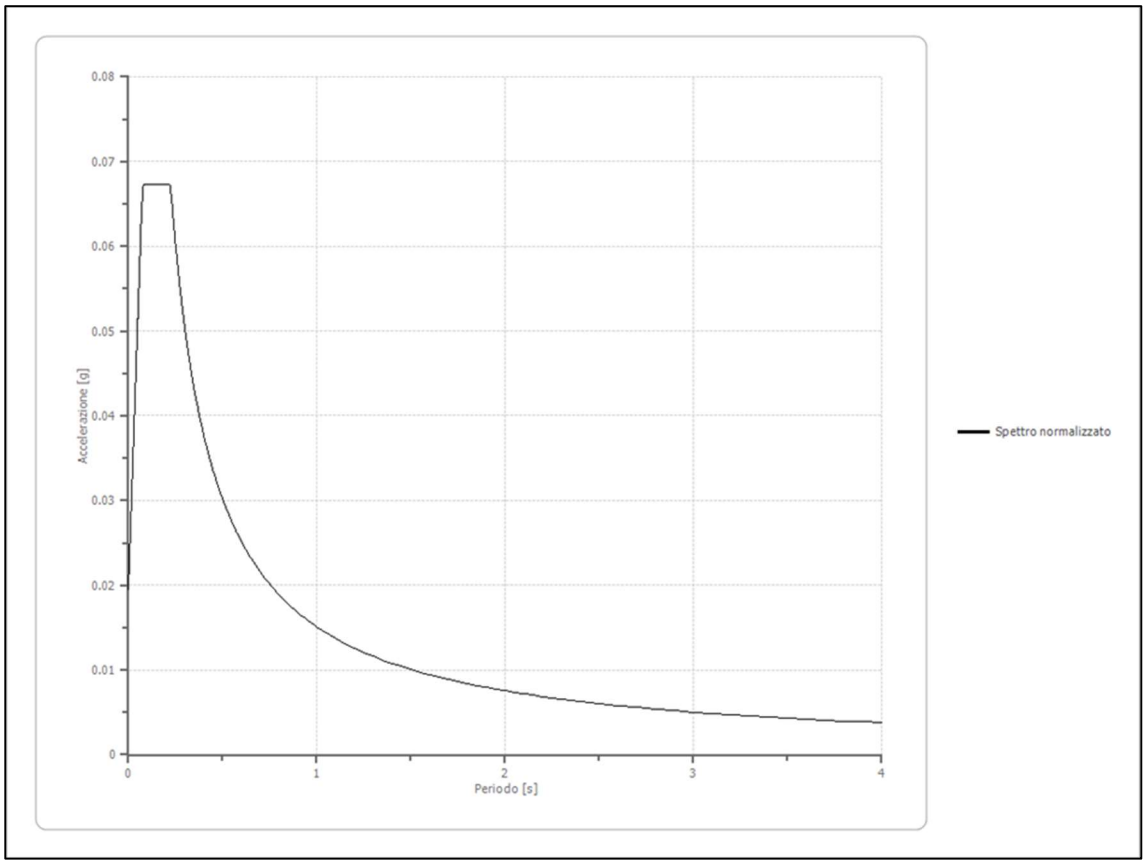
- **Spettro medio di risposta elastico**

Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.0259	0.26	0.0402	0.52	0.0243	0.98	0.0122	2.25	0.0038
0.01	0.0259	0.27	0.0397	0.53	0.0237	1.00	0.0119	2.30	0.0035
0.02	0.0259	0.28	0.0398	0.54	0.0231	1.05	0.0110	2.35	0.0033
0.03	0.0271	0.29	0.0410	0.55	0.0223	1.10	0.0102	2.40	0.0031
0.04	0.0307	0.30	0.0421	0.56	0.0215	1.15	0.0096	2.50	0.0029
0.05	0.0357	0.31	0.0414	0.57	0.0209	1.20	0.0090	2.60	0.0027
0.06	0.0412	0.32	0.0417	0.58	0.0208	1.25	0.0085	2.70	0.0025
0.07	0.0460	0.33	0.0414	0.60	0.0210	1.30	0.0080	2.80	0.0022
0.08	0.0508	0.34	0.0401	0.62	0.0214	1.35	0.0077	2.90	0.0020
0.09	0.0572	0.35	0.0391	0.64	0.0220	1.40	0.0077	3.00	0.0019
0.10	0.0725	0.36	0.0386	0.66	0.0222	1.45	0.0077	3.10	0.0019
0.11	0.0700	0.37	0.0376	0.68	0.0220	1.50	0.0074	3.20	0.0018
0.12	0.0841	0.38	0.0359	0.70	0.0215	1.55	0.0068	3.30	0.0017
0.13	0.0889	0.39	0.0349	0.72	0.0206	1.60	0.0063	3.40	0.0016
0.14	0.0804	0.40	0.0340	0.74	0.0195	1.65	0.0059	3.50	0.0015
0.15	0.0644	0.41	0.0332	0.76	0.0183	1.70	0.0056	3.60	0.0016
0.16	0.0614	0.42	0.0324	0.78	0.0174	1.75	0.0056	3.70	0.0016
0.17	0.0668	0.43	0.0317	0.80	0.0163	1.80	0.0056	3.80	0.0017
0.18	0.0688	0.44	0.0310	0.82	0.0158	1.85	0.0056	3.90	0.0017
0.19	0.0650	0.45	0.0300	0.84	0.0154	1.90	0.0055	4.00	0.0016
0.20	0.0596	0.46	0.0293	0.86	0.0149	1.95	0.0052		
0.21	0.0569	0.47	0.0287	0.88	0.0142	2.00	0.0050		
0.22	0.0530	0.48	0.0276	0.90	0.0136	2.05	0.0048		
0.23	0.0496	0.49	0.0267	0.92	0.0132	2.10	0.0046		
0.24	0.0446	0.50	0.0257	0.94	0.0129	2.15	0.0043		
0.25	0.0418	0.51	0.0249	0.96	0.0125	2.20	0.0040		


0.1
0.09
0.08
0.07
0.06
0.05
0.04
0.03
0.02
0.01
0
Accelerazione [[g]]
0
1
2
3
4
Periodo [s]
Spettro medio

- **Spettro normalizzato di risposta elastico**

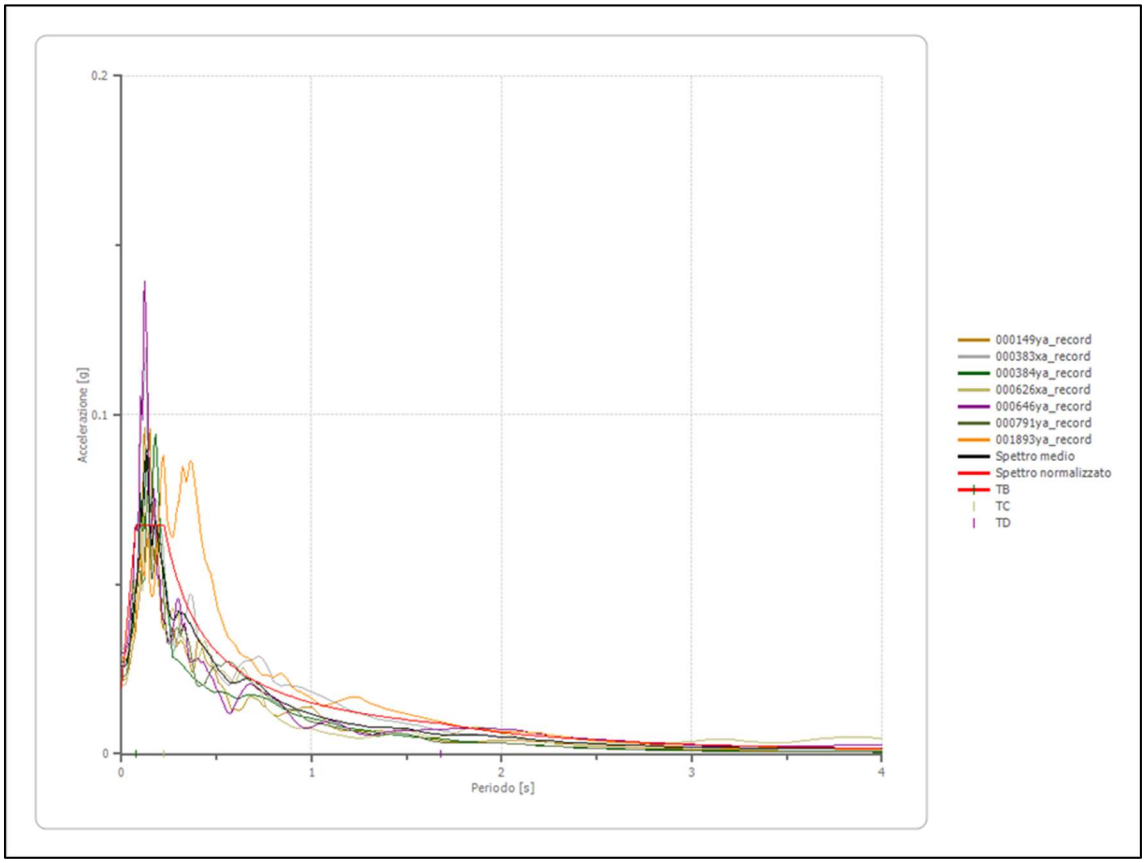
Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.0196	0.26	0.0581	0.52	0.0290	0.98	0.0154	2.25	0.0067
0.01	0.0259	0.27	0.0559	0.53	0.0285	1.00	0.0151	2.30	0.0066
0.02	0.0323	0.28	0.0539	0.54	0.0280	1.05	0.0144	2.35	0.0064
0.03	0.0387	0.29	0.0521	0.55	0.0275	1.10	0.0137	2.40	0.0063
0.04	0.0451	0.30	0.0503	0.56	0.0270	1.15	0.0131	2.50	0.0060
0.05	0.0515	0.31	0.0487	0.57	0.0265	1.20	0.0126	2.60	0.0058
0.06	0.0579	0.32	0.0472	0.58	0.0260	1.25	0.0121	2.70	0.0056
0.07	0.0643	0.33	0.0458	0.60	0.0252	1.30	0.0116	2.80	0.0054
0.08	0.0673	0.34	0.0444	0.62	0.0244	1.35	0.0112	2.90	0.0052
0.09	0.0673	0.35	0.0431	0.64	0.0236	1.40	0.0108	3.00	0.0050
0.10	0.0673	0.36	0.0419	0.66	0.0229	1.45	0.0104	3.10	0.0049
0.11	0.0673	0.37	0.0408	0.68	0.0222	1.50	0.0101	3.20	0.0047
0.12	0.0673	0.38	0.0397	0.70	0.0216	1.55	0.0097	3.30	0.0046
0.13	0.0673	0.39	0.0387	0.72	0.0210	1.60	0.0094	3.40	0.0044
0.14	0.0673	0.40	0.0377	0.74	0.0204	1.65	0.0092	3.50	0.0043
0.15	0.0673	0.41	0.0368	0.76	0.0199	1.70	0.0089	3.60	0.0042
0.16	0.0673	0.42	0.0359	0.78	0.0194	1.75	0.0086	3.70	0.0041
0.17	0.0673	0.43	0.0351	0.80	0.0189	1.80	0.0084	3.80	0.0040
0.18	0.0673	0.44	0.0343	0.82	0.0184	1.85	0.0082	3.90	0.0039
0.19	0.0673	0.45	0.0336	0.84	0.0180	1.90	0.0079	4.00	0.0038
0.20	0.0673	0.46	0.0328	0.86	0.0176	1.95	0.0077		
0.21	0.0673	0.47	0.0321	0.88	0.0172	2.00	0.0075		
0.22	0.0673	0.48	0.0315	0.90	0.0168	2.05	0.0074		
0.23	0.0656	0.49	0.0308	0.92	0.0164	2.10	0.0072		
0.24	0.0629	0.50	0.0302	0.94	0.0161	2.15	0.0070		
0.25	0.0604	0.51	0.0296	0.96	0.0157	2.20	0.0069		



- **Parametri spettro normalizzato**

Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]	S
0.020	3.441879	--	0.075	0.224	1.678	0.020	0.067	0.849

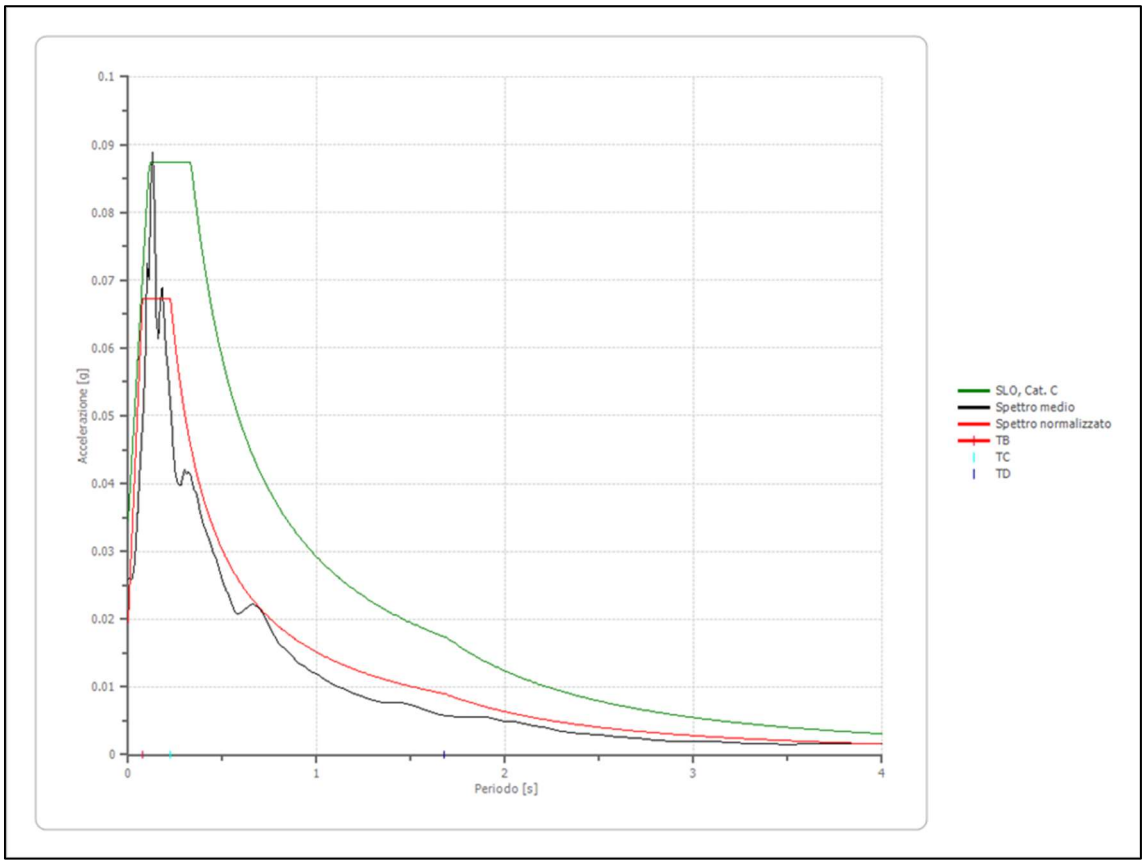
- **Confronto tra gli spettri**



- **Confronto spettro normativa**

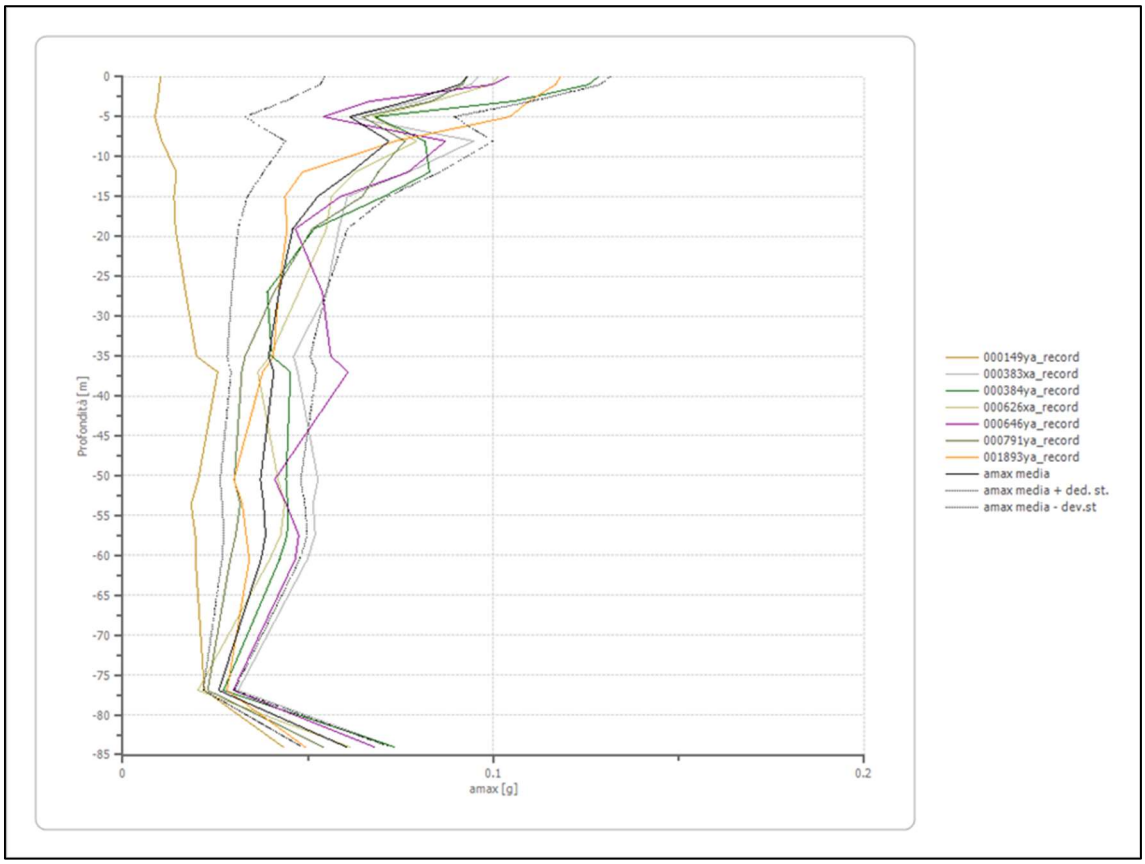
Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

	Operatività SLO	Danno SLD	Salvaguardia vita SLV	Prev. collasso SLC
Tr [anni]	30	50	475	975
ag [g]	0.023	0.030	0.067	0.086
Fo	2.528	2.526	2.587	2.594
Tc* [s]	0.181	0.205	0.283	0.294
Ss	1.50	1.50	1.50	1.50
St	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	1.85	1.77	1.59	1.57
TB [s]	0.111	0.121	0.150	0.154
TC [s]	0.334	0.363	0.451	0.462
TD [s]	1.692	1.720	1.868	1.944
Se(0) [g]	0.035	0.045	0.100	0.129
Se(TB) [g]	0.087	0.114	0.260	0.335



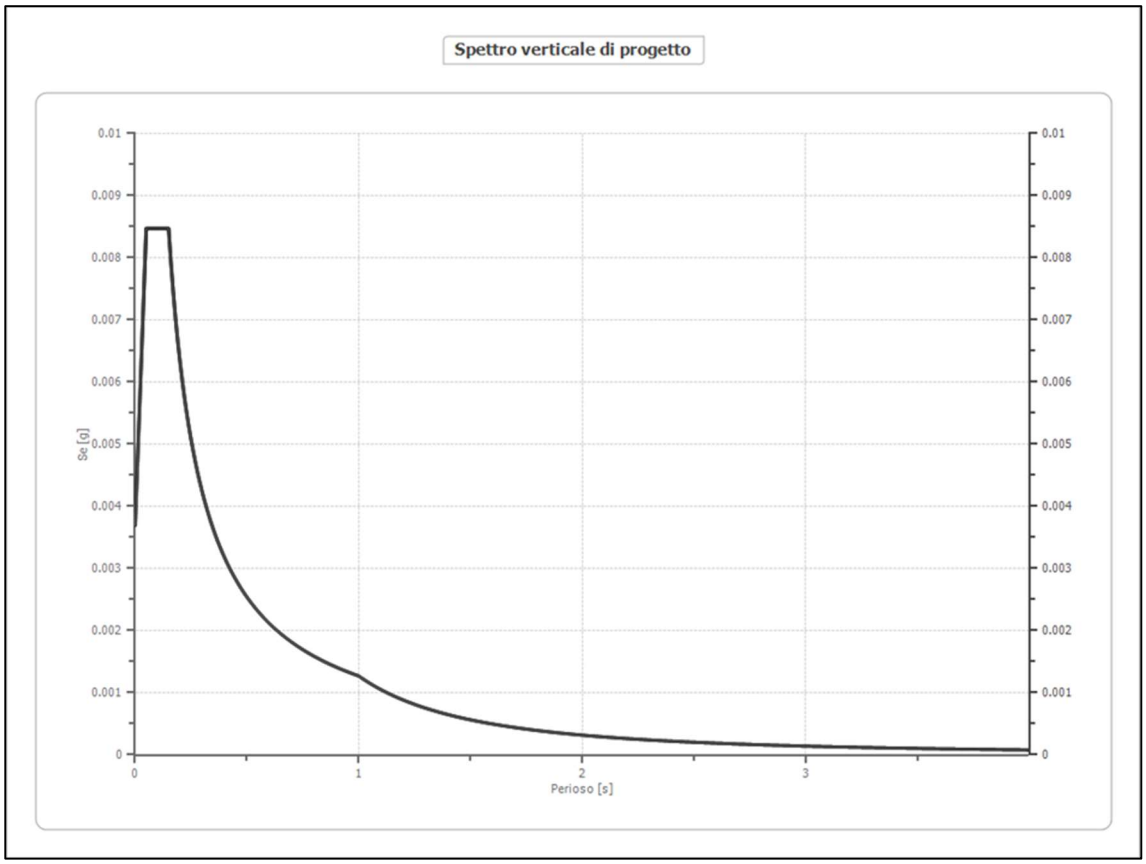
- **Profilo a max**

	0.0 [m]	1.0 [m]	3.0 [m]	5.0 [m]	8.0 [m]	12.0 [m]	15.0 [m]	19.0 [m]	27.0 [m]	35.0 [m]	37.0 [m]	50.5 [m]	53.5 [m]	57.5 [m]	60.5 [m]	77.0 [m]	84.0 [m]
000149ya_record [g]	0.010	0.010	0.009	0.009	0.011	0.014	0.014	0.014	0.017	0.020	0.026	0.020	0.018	0.020	0.020	0.022	0.043
000383xa_record [g]	0.096	0.094	0.080	0.061	0.095	0.077	0.061	0.058	0.055	0.046	0.047	0.053	0.051	0.052	0.050	0.031	0.073
000384ya_record [g]	0.128	0.126	0.106	0.068	0.082	0.083	0.070	0.052	0.039	0.040	0.045	0.044	0.045	0.044	0.042	0.027	0.073
000626xa_record [g]	0.101	0.099	0.084	0.068	0.079	0.063	0.056	0.055	0.047	0.040	0.036	0.042	0.044	0.043	0.040	0.020	0.061
000646ya_record [g]	0.104	0.100	0.067	0.054	0.087	0.077	0.059	0.047	0.054	0.056	0.061	0.041	0.044	0.047	0.047	0.030	0.068
000791ya_record [g]	0.093	0.092	0.083	0.065	0.076	0.069	0.065	0.051	0.041	0.033	0.032	0.030	0.032	0.030	0.029	0.023	0.054
001893ya_record [g]	0.118	0.117	0.110	0.104	0.073	0.048	0.044	0.044	0.042	0.041	0.038	0.030	0.032	0.033	0.034	0.028	0.049
media [g]	0.093	0.091	0.077	0.061	0.072	0.062	0.053	0.046	0.042	0.039	0.041	0.037	0.038	0.039	0.037	0.026	0.060
Dev. St. [g]	0.039	0.038	0.033	0.028	0.028	0.024	0.019	0.015	0.013	0.011	0.012	0.011	0.011	0.011	0.010	0.004	0.012



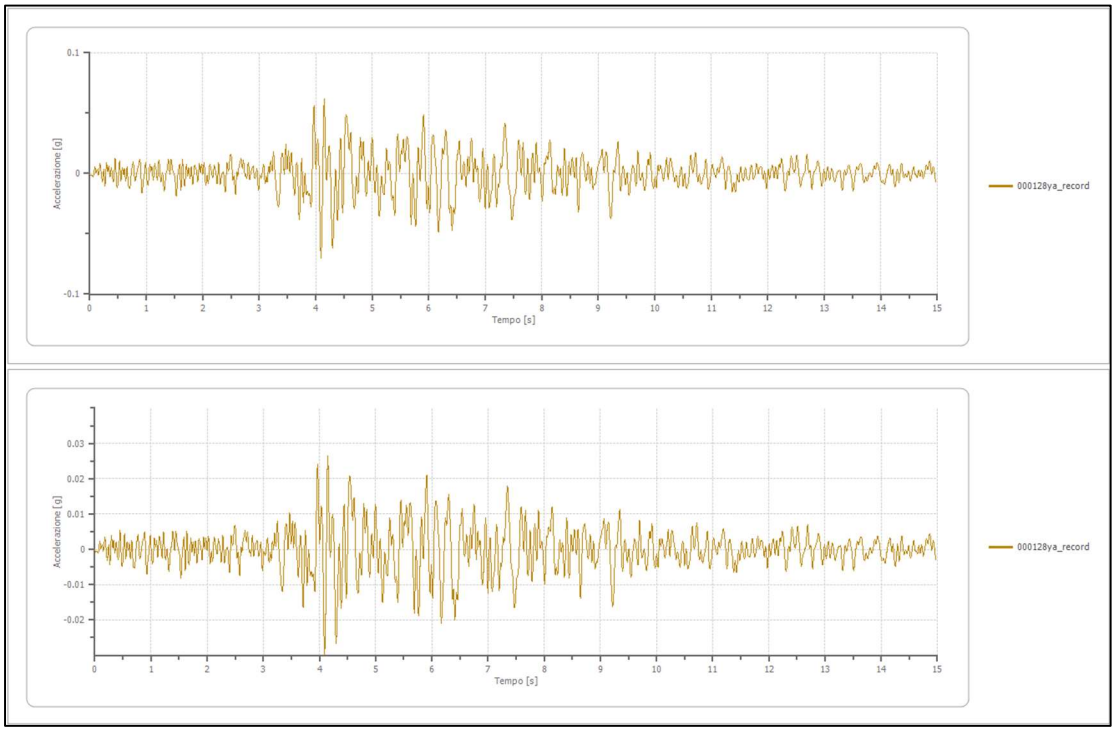
- **Spettro verticale di progetto**

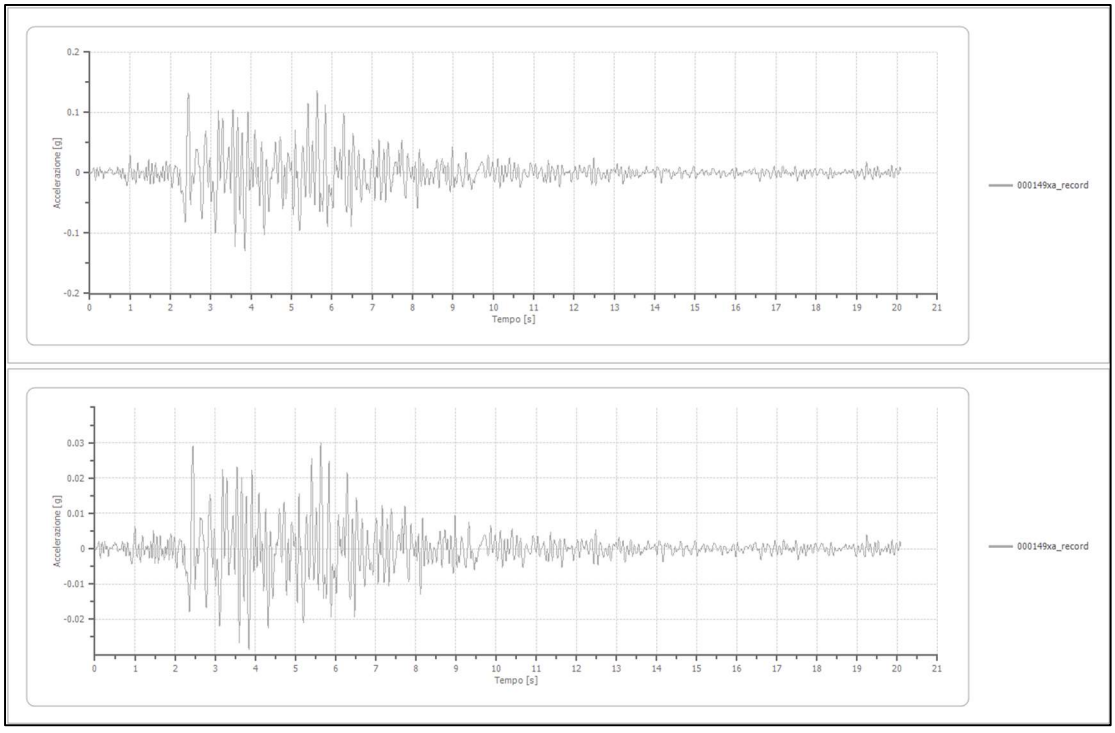
Ag [g]	F0	Tc*	Fv	q	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
0.020	3.442	0.150	0.650	1.5	0.050	0.150	1.000	0.004	0.008

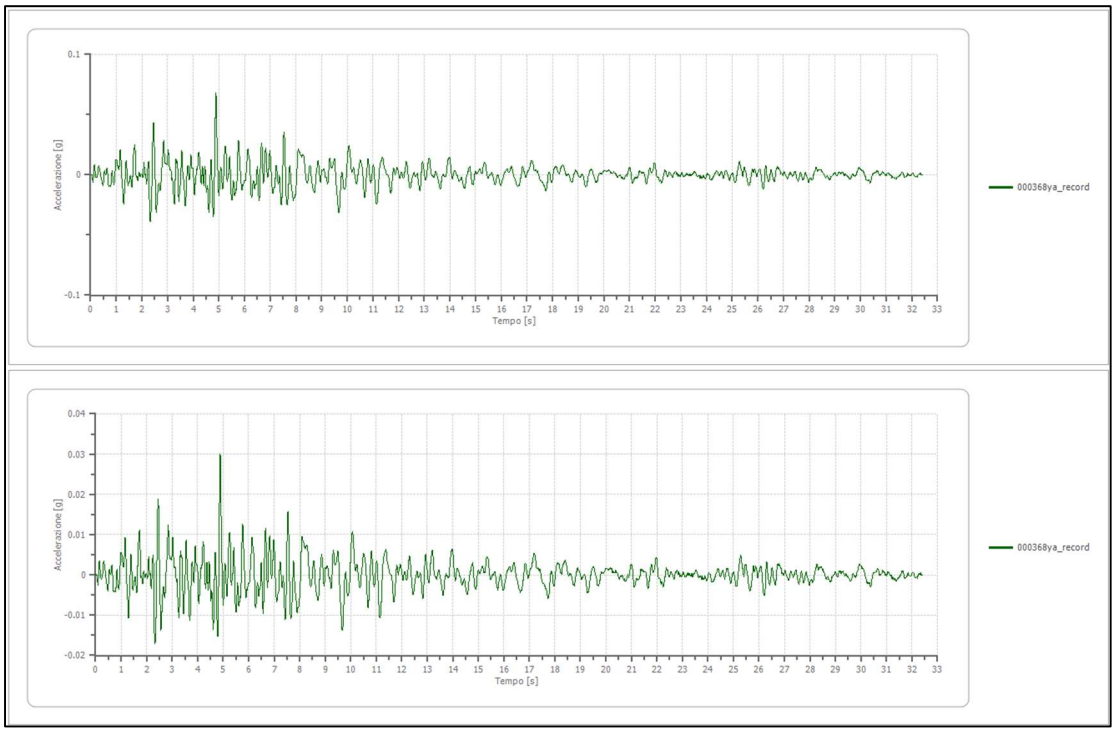

Spettro verticale di progetto
Se [g]
Perioso [s]
0.01
0.009
0.008
0.007
0.006
0.005
0.004
0.003
0.002
0.001
0
0
1
2
3

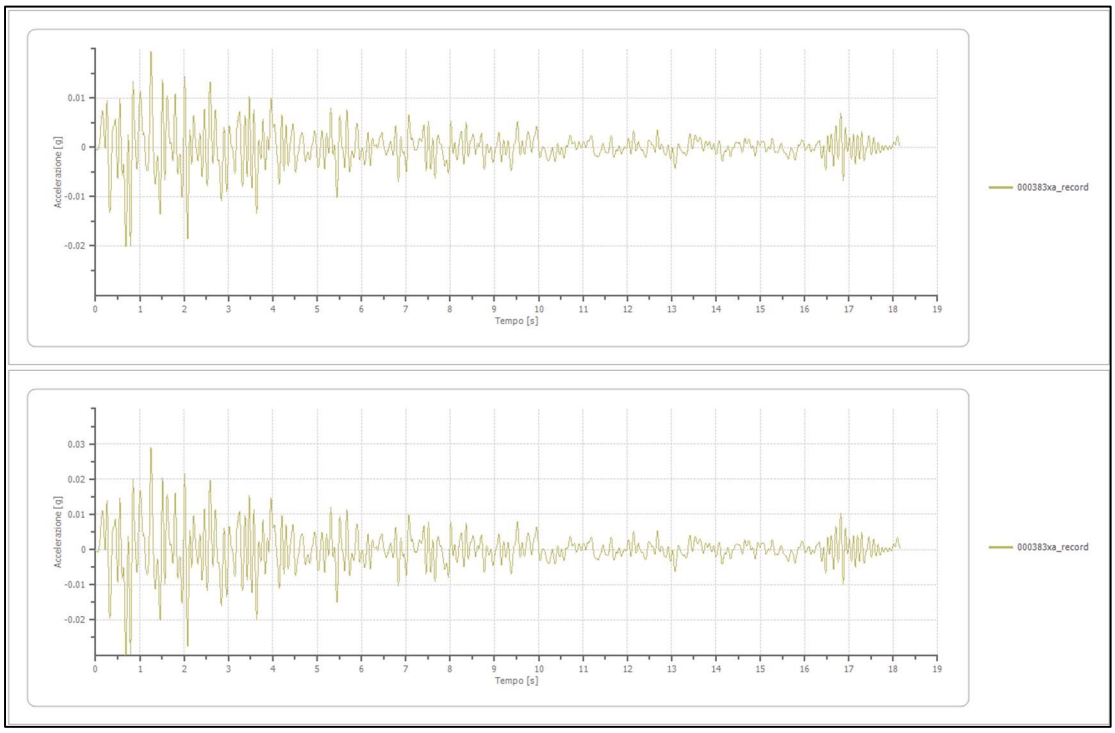
7.2.9 MODELLO REALIZZATO CON GLI 7 ACCELEROGRAMMI ALLO SLD

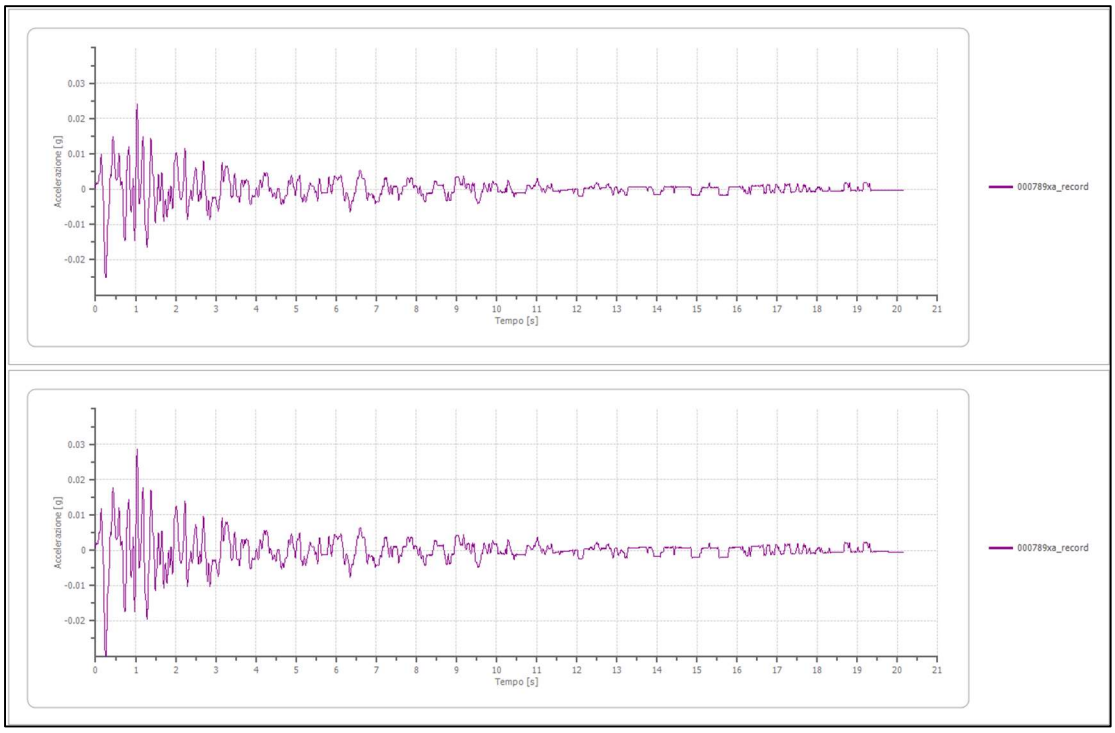
Nelle immagini seguenti si riportano gli accelerogrammi ricavati da rexel v3.5.

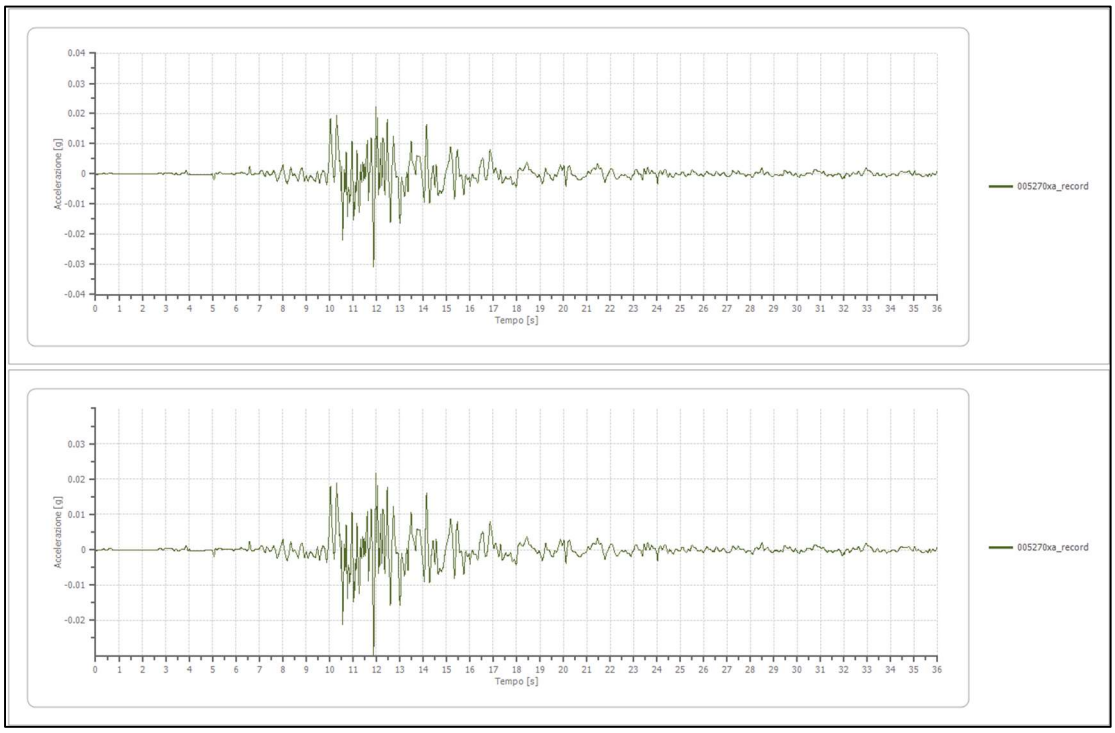


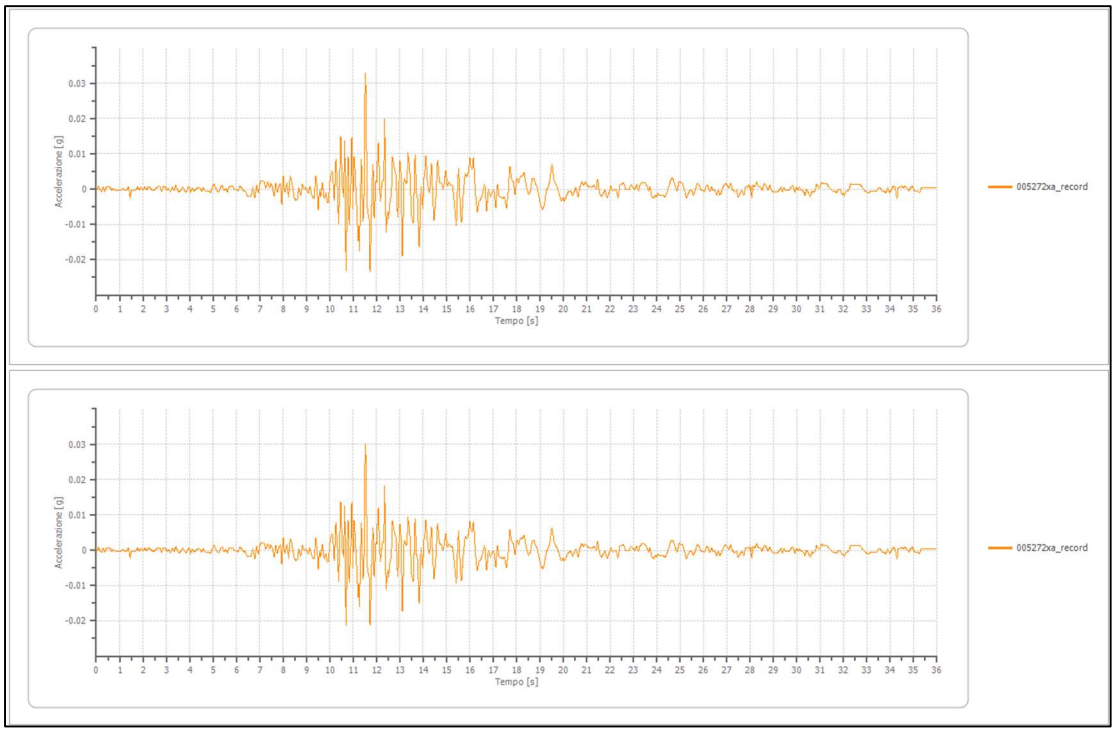



Accelerazione [g]
Tempo [s]
000368ya_record
Accelerazione [g]
Tempo [s]
000368ya_record


Accelerazione [g]
Tempo [s]
000383xa_record
Accelerazione [g]
Tempo [s]
000383xa_record


Accelerazione [g]
Tempo [s]
000789xa_record
Accelerazione [g]
Tempo [s]
000789xa_record


Accelerazione [g]
Tempo [s]
005270xa_record
Accelerazione [g]
Tempo [s]
005270xa_record



RISULTATO DEL MODELLO

- **Elaborazione**

Numero di iterazioni 50

Rapporto tra deformazione a taglio effettiva e deformazione massima 0.5

Tipo di modulo elastico Shake

Massimo errore percentuale di convergenza 5.96 E-04

- **Fattori di amplificazione ICMS 2018**

Tai	0.210	[s]
Tvi	1.800	[s]
Tao	0.190	[s]
Tvo	0.680	[s]
Sami	0.650	[m/s²]
Svmi	0.031	[m/s]
Samo	0.731	[m/s²]
Svmo	0.035	[m/s]
Fa	**1.125**	**[-]**
Fv	**1.130**	**[-]**
TB	0.099	[s]
TC	0.297	[s]
TD	1.706	[s]
SA(0)	0.027	[g]
SA(TB)	0.075	[g]

I fattori di amplificazione sono così determinati:

1. Si determina il periodo di massimo valore dello spettro medio di input TAi e dello spettro medio di output TAo;
2. Si ricavano i valori medi degli spettri di input (SAm,i) e di output (SAm,o) nell'intorno di TAi e di TAo come

$$SA_m = \frac{1}{TA}\int_{0.5TA}^{1.5TA} SA\ (T)dT$$

dove SA è lo spettro medio (SAi di input, SAo di output)

3. Si determinano i periodi proprio TVi e TVo per il quale sono massimi gli spettri di pseudovelocità

$$SV(T) = SA(T)\frac{T}{2\pi}$$

dove SV è lo spettro medio di pseudovelocità (SVi di input, SVo di output)

4. Si calcolano i valori medi degli spettri medi di pseudovelocità o nell'intorno di TVi e di TVo

$$SV_m = \frac{1}{0.4TV}\int_{0.8TV}^{1.2TV} SV\ (T)dT$$

dove SVi è lo spettro medio di pseudovelocità di input ed SVo è lo spettro medio pi pseudovelocità di output.

5. Il valore di FA è pari a

$$FA = \frac{SA_{m,o}}{SA_{m,i}}$$

6. Il valore di FV è pari a

$$FV = \frac{SV_{m,o}}{SV_{m,i}}$$

Per determinare i valori dello spettronormalizzato valgono le seguenti relazioni:

Periodo TC:

$$T_c = \frac{SV_{m,i} FV}{SA_{m,i} FA}$$

Periodo TB:

$$T_B = \frac{1}{3} T_C$$

Valori dello spettro in 0 e in TB

$$SA(0) = SA_i(0) * FA$$
$$SA(T_B) = SA_{m,i} * FA$$

Il ramo dello spettro ad accelerazione spettrale costante, tra TB e TC, ha ordinata pari a SAm,i*FA

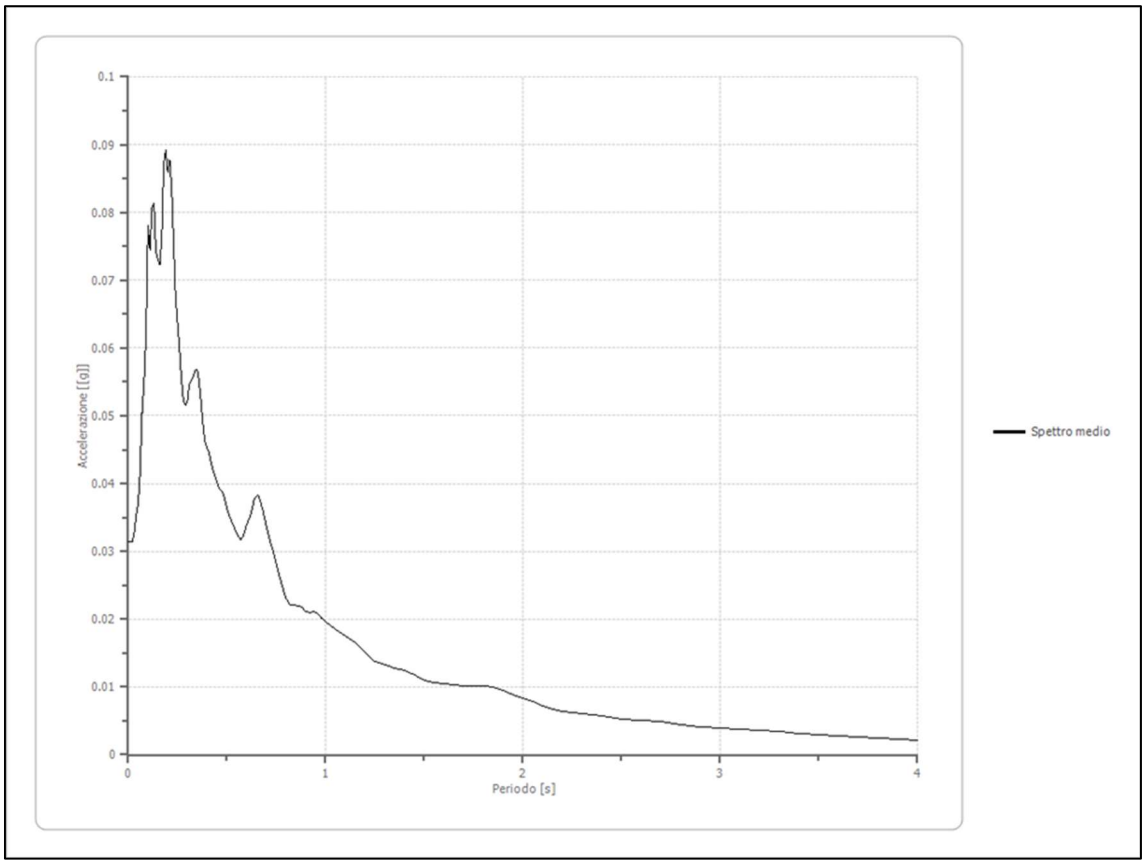
Il ramo dello spettro a velocità costante (T>TC) ha ordinate pari a SAm,i*FA*(TC/T)

- Fattori di amplificazione su intensità spettrale

Periodo minino [s]	Periodo massimo [s]	Int. Housner input [m]	Int. Housner output [m]	Int. Housner input/output [m]	FA
0.100	0.500	0.009	0.010	0.200	1.077
0.400	0.800	0.012	0.013	0.500	1.104
0.700	1.100	0.012	0.013	0.636	1.114
0.500	1.500	0.030	0.033	0.333	1.096

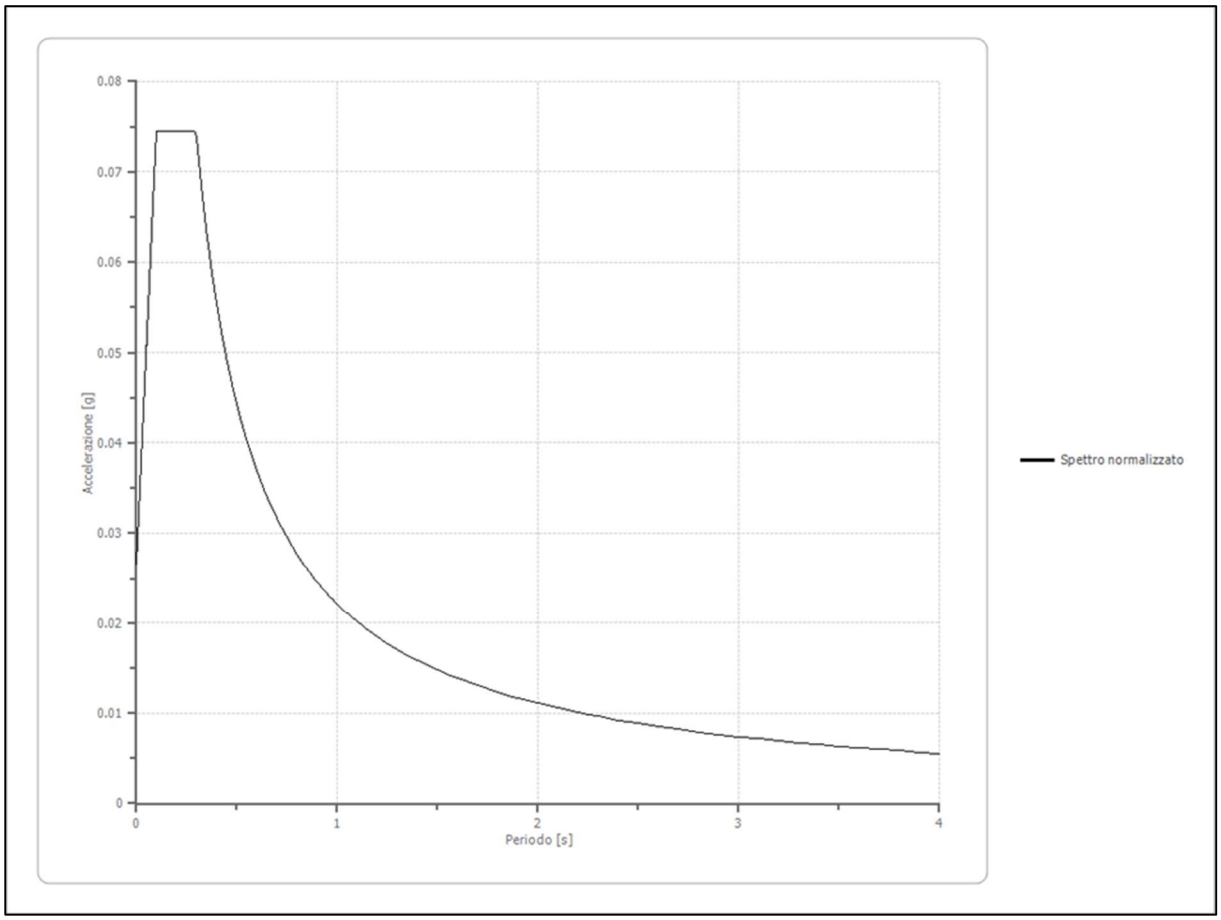
- **Spettro medio di risposta elastico**

Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.0314	0.26	0.0598	0.52	0.0347	0.98	0.0202	2.25	0.0062
0.01	0.0314	0.27	0.0554	0.53	0.0341	1.00	0.0196	2.30	0.0061
0.02	0.0314	0.28	0.0522	0.54	0.0333	1.05	0.0185	2.35	0.0059
0.03	0.0326	0.29	0.0515	0.55	0.0326	1.10	0.0175	2.40	0.0057
0.04	0.0351	0.30	0.0522	0.56	0.0321	1.15	0.0165	2.50	0.0053
0.05	0.0370	0.31	0.0546	0.57	0.0318	1.20	0.0151	2.60	0.0052
0.06	0.0416	0.32	0.0554	0.58	0.0320	1.25	0.0137	2.70	0.0049
0.07	0.0503	0.33	0.0558	0.60	0.0339	1.30	0.0132	2.80	0.0044
0.08	0.0548	0.34	0.0568	0.62	0.0354	1.35	0.0128	2.90	0.0042
0.09	0.0619	0.35	0.0569	0.64	0.0378	1.40	0.0125	3.00	0.0039
0.10	0.0780	0.36	0.0549	0.66	0.0383	1.45	0.0118	3.10	0.0037
0.11	0.0745	0.37	0.0516	0.68	0.0363	1.50	0.0110	3.20	0.0036
0.12	0.0808	0.38	0.0483	0.70	0.0338	1.55	0.0106	3.30	0.0034
0.13	0.0813	0.39	0.0461	0.72	0.0315	1.60	0.0105	3.40	0.0032
0.14	0.0743	0.40	0.0452	0.74	0.0294	1.65	0.0102	3.50	0.0030
0.15	0.0732	0.41	0.0445	0.76	0.0271	1.70	0.0102	3.60	0.0028
0.16	0.0724	0.42	0.0431	0.78	0.0249	1.75	0.0102	3.70	0.0026
0.17	0.0764	0.43	0.0419	0.80	0.0231	1.80	0.0102	3.80	0.0024
0.18	0.0871	0.44	0.0410	0.82	0.0220	1.85	0.0099	3.90	0.0023
0.19	0.0893	0.45	0.0402	0.84	0.0220	1.90	0.0094	4.00	0.0022
0.20	0.0859	0.46	0.0393	0.86	0.0220	1.95	0.0089		
0.21	0.0877	0.47	0.0389	0.88	0.0218	2.00	0.0083		
0.22	0.0836	0.48	0.0386	0.90	0.0212	2.05	0.0078		
0.23	0.0754	0.49	0.0376	0.92	0.0210	2.10	0.0073		
0.24	0.0675	0.50	0.0363	0.94	0.0211	2.15	0.0068		
0.25	0.0638	0.51	0.0354	0.96	0.0208	2.20	0.0064		


0.1
0.09
0.08
0.07
0.06
0.05
0.04
0.03
0.02
0.01
0
Accelerazione [[g]]
0
1
2
3
4
Periodo [s]
Spettro medio

- **Spettro normalizzato di risposta elastico**

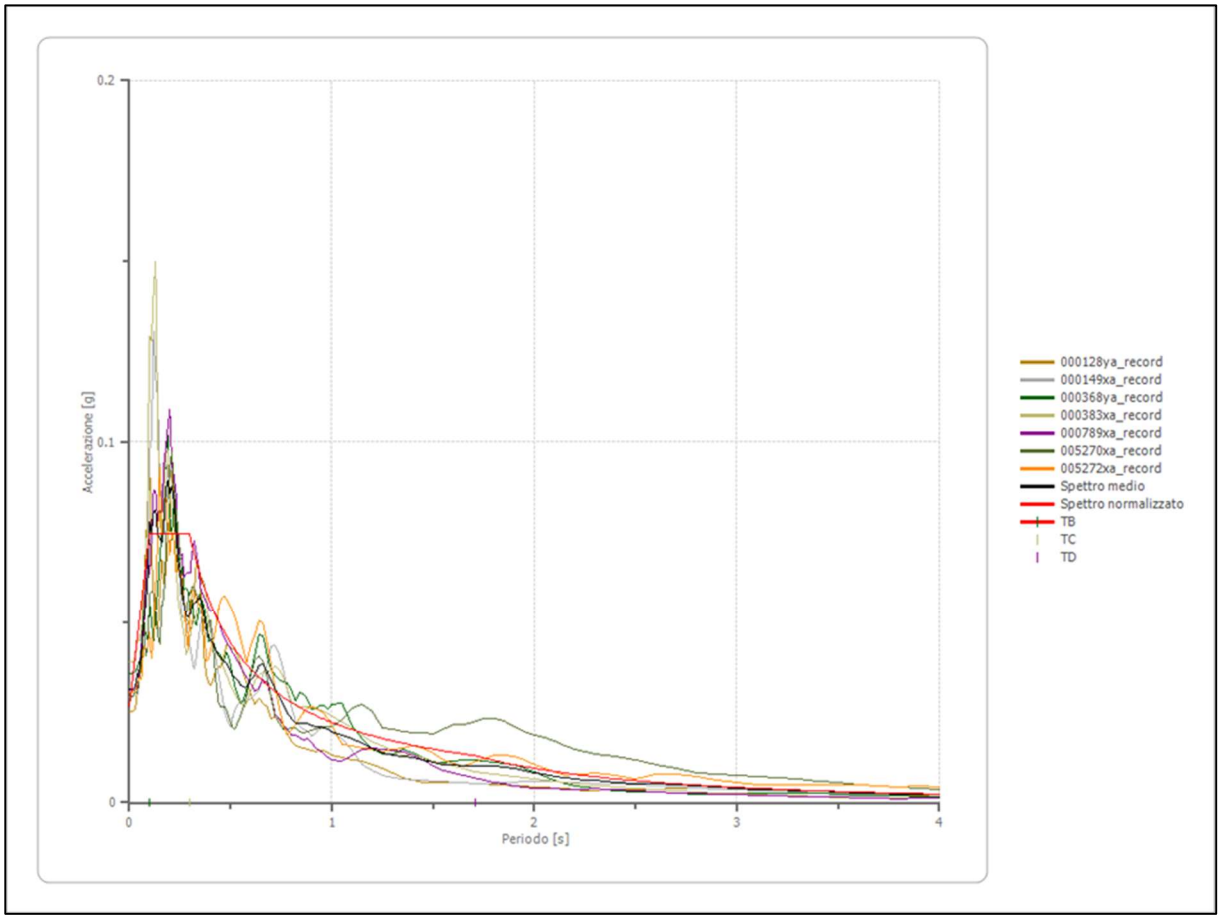
Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.0266	0.26	0.0745	0.52	0.0426	0.98	0.0226	2.25	0.0098
0.01	0.0314	0.27	0.0745	0.53	0.0418	1.00	0.0222	2.30	0.0096
0.02	0.0363	0.28	0.0745	0.54	0.0410	1.05	0.0211	2.35	0.0094
0.03	0.0411	0.29	0.0745	0.55	0.0403	1.10	0.0201	2.40	0.0092
0.04	0.0459	0.30	0.0738	0.56	0.0396	1.15	0.0193	2.50	0.0089
0.05	0.0508	0.31	0.0715	0.57	0.0389	1.20	0.0185	2.60	0.0085
0.06	0.0556	0.32	0.0692	0.58	0.0382	1.25	0.0177	2.70	0.0082
0.07	0.0605	0.33	0.0671	0.60	0.0369	1.30	0.0170	2.80	0.0079
0.08	0.0653	0.34	0.0652	0.62	0.0357	1.35	0.0164	2.90	0.0076
0.09	0.0702	0.35	0.0633	0.64	0.0346	1.40	0.0158	3.00	0.0074
0.10	0.0745	0.36	0.0615	0.66	0.0336	1.45	0.0153	3.10	0.0071
0.11	0.0745	0.37	0.0599	0.68	0.0326	1.50	0.0148	3.20	0.0069
0.12	0.0745	0.38	0.0583	0.70	0.0316	1.55	0.0143	3.30	0.0067
0.13	0.0745	0.39	0.0568	0.72	0.0308	1.60	0.0138	3.40	0.0065
0.14	0.0745	0.40	0.0554	0.74	0.0299	1.65	0.0134	3.50	0.0063
0.15	0.0745	0.41	0.0540	0.76	0.0291	1.70	0.0130	3.60	0.0062
0.16	0.0745	0.42	0.0527	0.78	0.0284	1.75	0.0127	3.70	0.0060
0.17	0.0745	0.43	0.0515	0.80	0.0277	1.80	0.0123	3.80	0.0058
0.18	0.0745	0.44	0.0503	0.82	0.0270	1.85	0.0120	3.90	0.0057
0.19	0.0745	0.45	0.0492	0.84	0.0264	1.90	0.0117	4.00	0.0055
0.20	0.0745	0.46	0.0482	0.86	0.0258	1.95	0.0114		
0.21	0.0745	0.47	0.0471	0.88	0.0252	2.00	0.0111		
0.22	0.0745	0.48	0.0462	0.90	0.0246	2.05	0.0108		
0.23	0.0745	0.49	0.0452	0.92	0.0241	2.10	0.0105		
0.24	0.0745	0.50	0.0443	0.94	0.0236	2.15	0.0103		
0.25	0.0745	0.51	0.0434	0.96	0.0231	2.20	0.0101		



- **Parametri spettro normalizzato**

Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]	S
0.027	2.804988	--	0.099	0.297	1.706	0.027	0.075	0.886

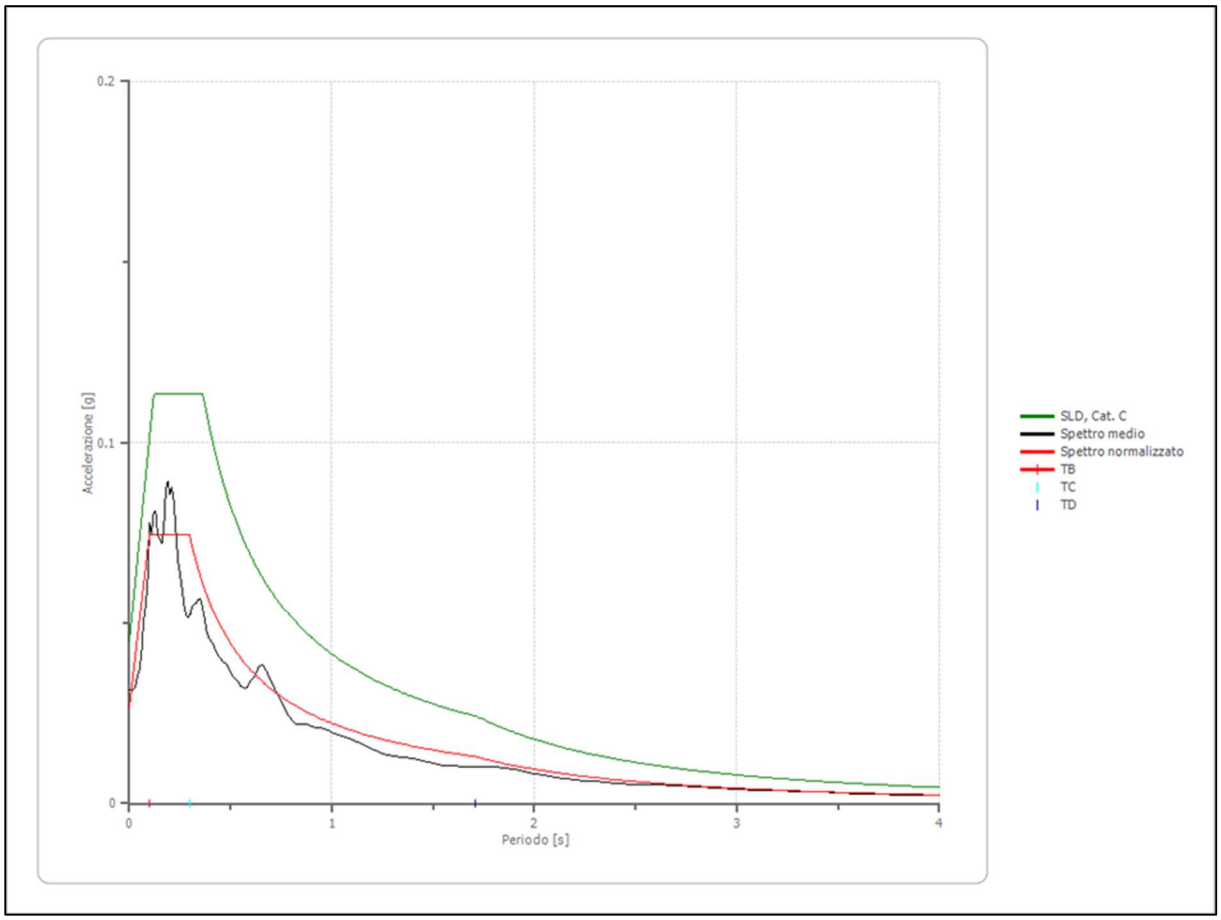
- **Confronto tra gli spettri**



- **Confronto spettro normativa**

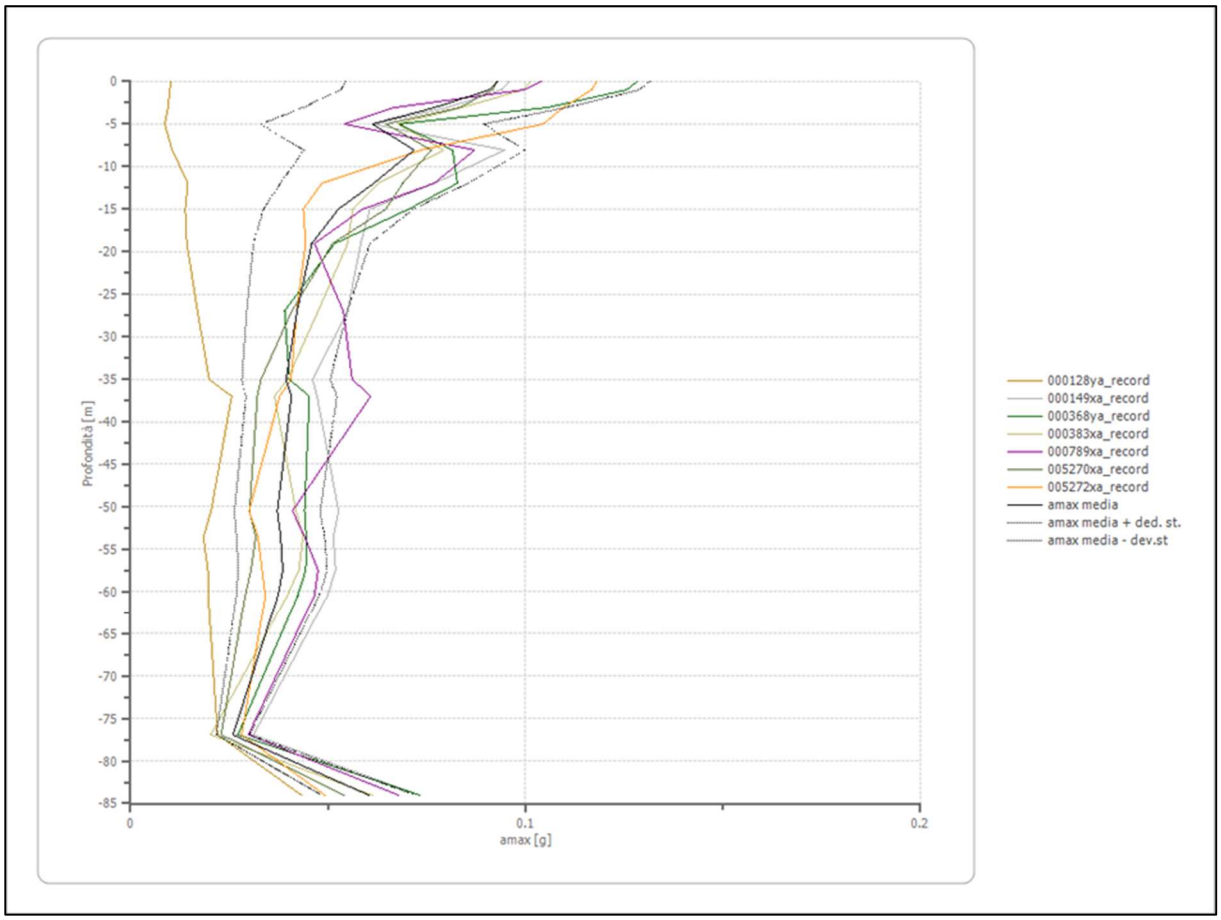
Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

	Operatività SLO	Danno SLD	Salvaguardia vita SLV	Prev. collasso SLC
Tr [anni]	30	50	475	975
ag [g]	0.023	0.030	0.067	0.086
Fo	2.528	2.526	2.587	2.594
Tc* [s]	0.181	0.205	0.283	0.294
Ss	1.50	1.50	1.50	1.50
St	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	1.85	1.77	1.59	1.57
TB [s]	0.111	0.121	0.150	0.154
TC [s]	0.334	0.363	0.451	0.462
TD [s]	1.692	1.720	1.868	1.944
Se(0) [g]	0.035	0.045	0.101	0.129
Se(TB) [g]	0.087	0.114	0.260	0.335



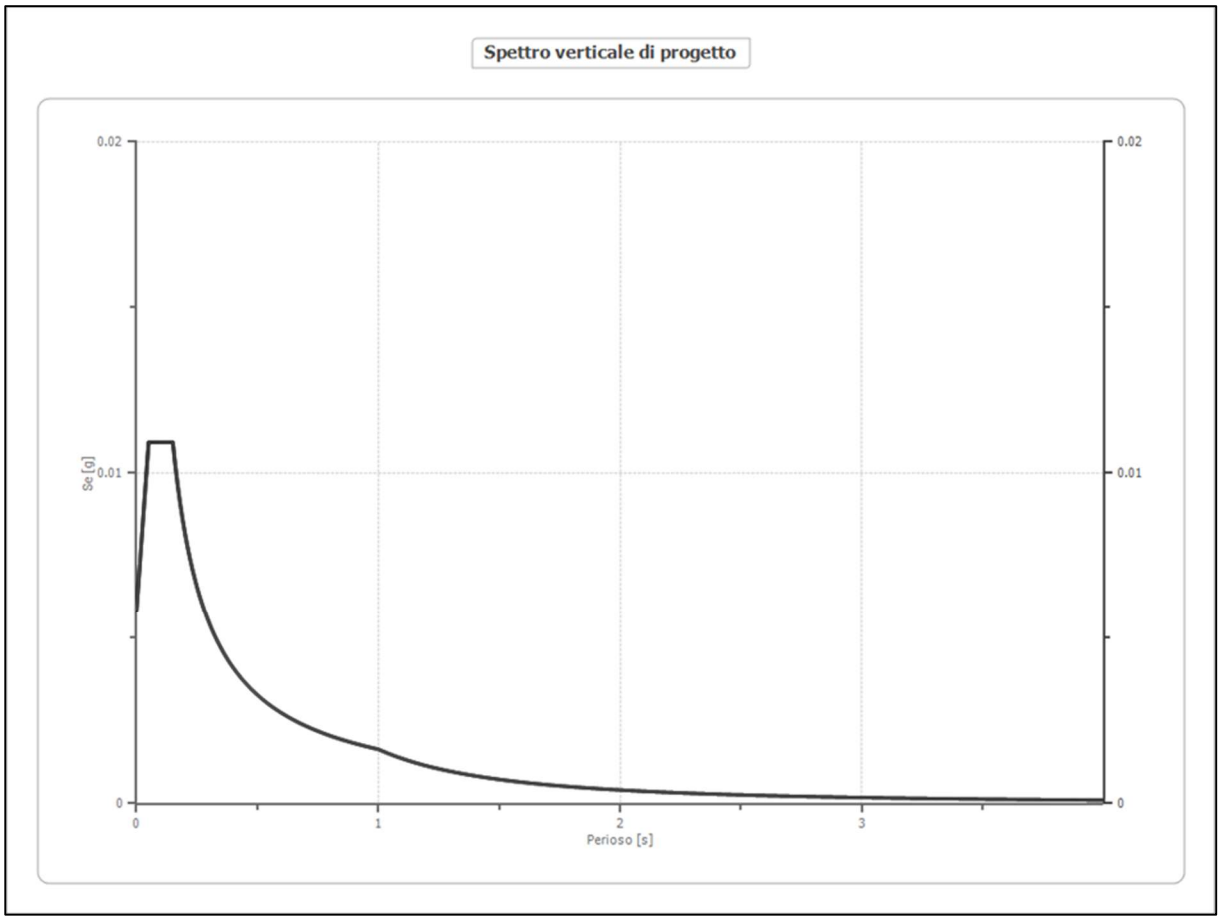
- **Profilo a max**

	0.0 [m]	1.0 [m]	3.0 [m]	5.0 [m]	8.0 [m]	12.0 [m]	15.0 [m]	19.0 [m]	27.0 [m]	35.0 [m]	37.0 [m]	50.5 [m]	53.5 [m]	57.5 [m]	60.5 [m]	77.0 [m]	84.0 [m]
000128ya_record [g]	0.010	0.010	0.009	0.009	0.011	0.014	0.014	0.014	0.017	0.020	0.026	0.020	0.018	0.020	0.020	0.022	0.043
000149xa_record [g]	0.096	0.094	0.080	0.061	0.095	0.077	0.061	0.058	0.055	0.046	0.047	0.053	0.051	0.052	0.050	0.031	0.073
000368ya_record [g]	0.128	0.126	0.106	0.068	0.082	0.083	0.070	0.052	0.039	0.040	0.045	0.044	0.045	0.044	0.042	0.027	0.073
000383xa_record [g]	0.101	0.099	0.084	0.068	0.079	0.063	0.056	0.055	0.047	0.040	0.036	0.042	0.044	0.043	0.040	0.020	0.061
000789xa_record [g]	0.104	0.100	0.067	0.054	0.087	0.077	0.059	0.047	0.054	0.056	0.061	0.041	0.044	0.047	0.047	0.030	0.068
005270xa_record [g]	0.093	0.092	0.083	0.065	0.076	0.069	0.065	0.051	0.041	0.033	0.032	0.030	0.032	0.030	0.029	0.023	0.054
005272xa_record [g]	0.118	0.117	0.110	0.104	0.073	0.048	0.044	0.044	0.042	0.041	0.038	0.030	0.032	0.033	0.034	0.028	0.049
media [g]	0.093	0.091	0.077	0.061	0.072	0.062	0.053	0.046	0.042	0.039	0.041	0.037	0.038	0.039	0.037	0.026	0.060
Dev. St. [g]	0.039	0.038	0.033	0.028	0.028	0.024	0.019	0.015	0.013	0.011	0.012	0.011	0.011	0.011	0.010	0.004	0.012



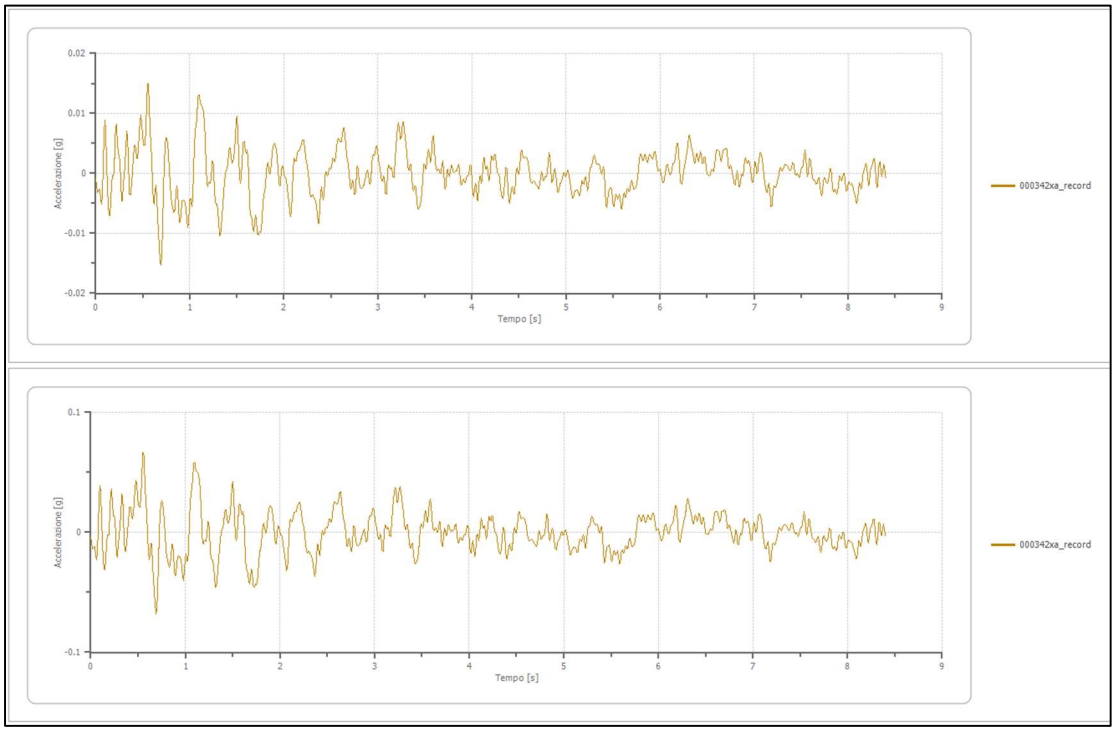
- **Spettro verticale di progetto**

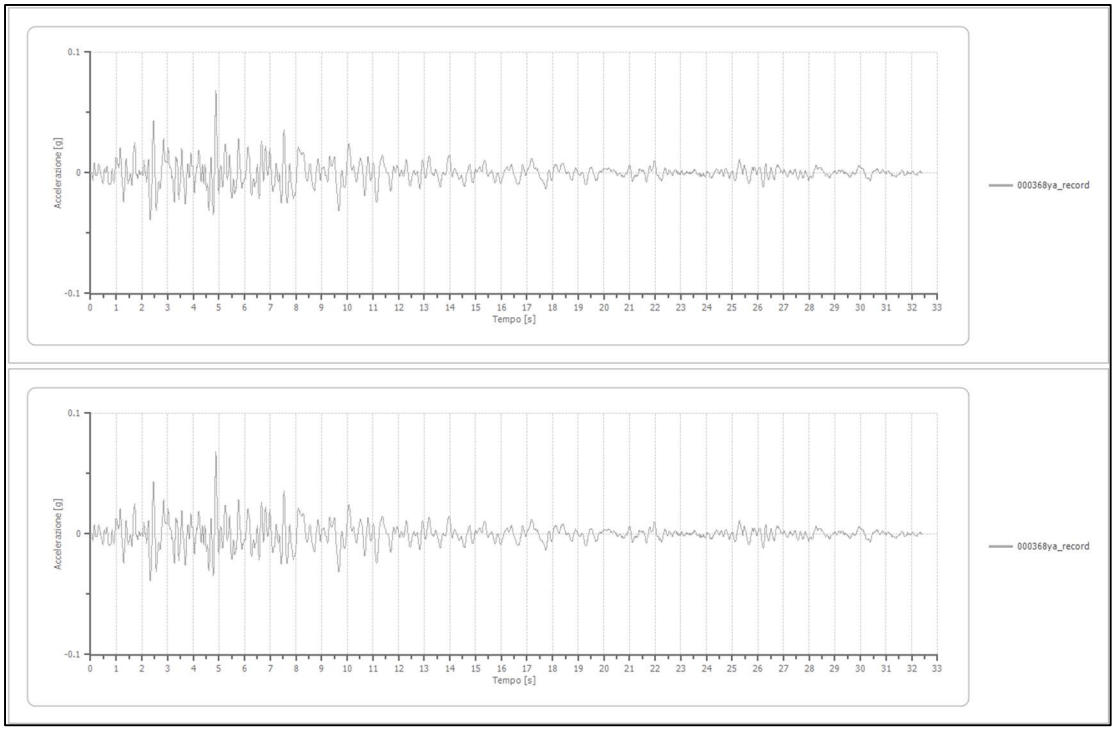
Ag [g]	F0	Tc*	Fv	q	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
0.027	2.805	0.150	0.617	1.5	0.050	0.150	1.000	0.006	0.011

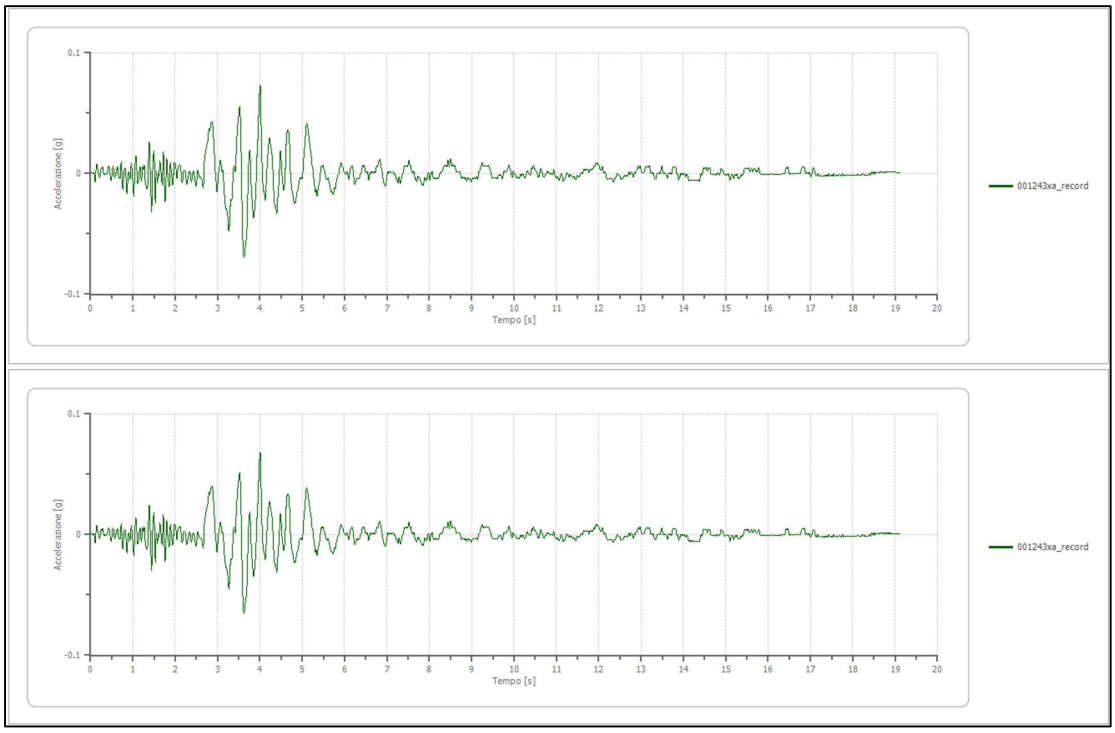

Spettro verticale di progetto
0.02
0.01
0
Se [g]
0
1
2
3
Perioso [s]

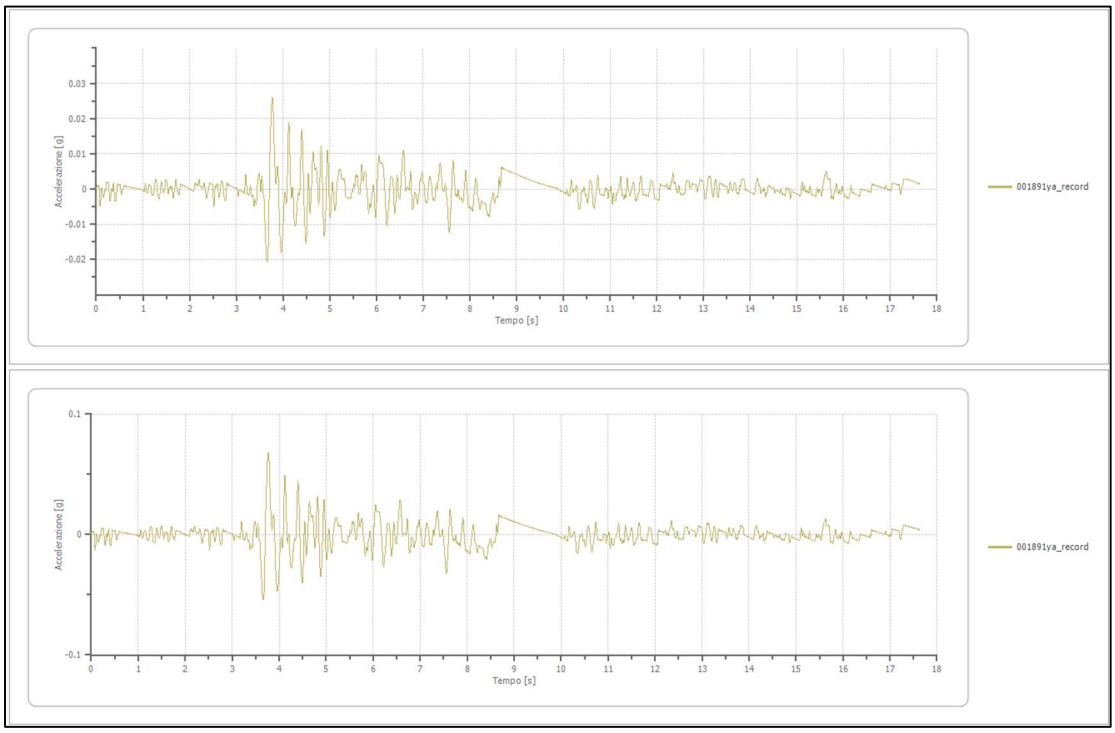
7.2.10 MODELLO REALIZZATO CON GLI 7 ACCELEROGRAMMI ALLO SLV

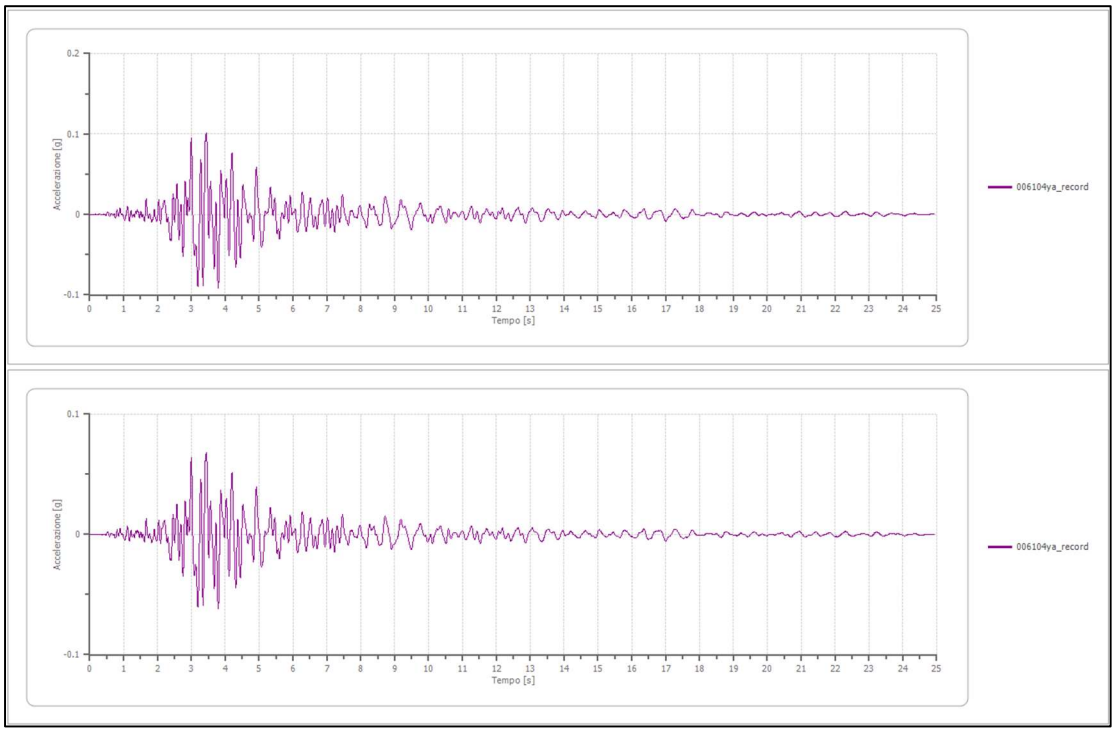
Nelle immagini seguenti si riportano gli accelerogrammi ricavati da rexel v3.5.

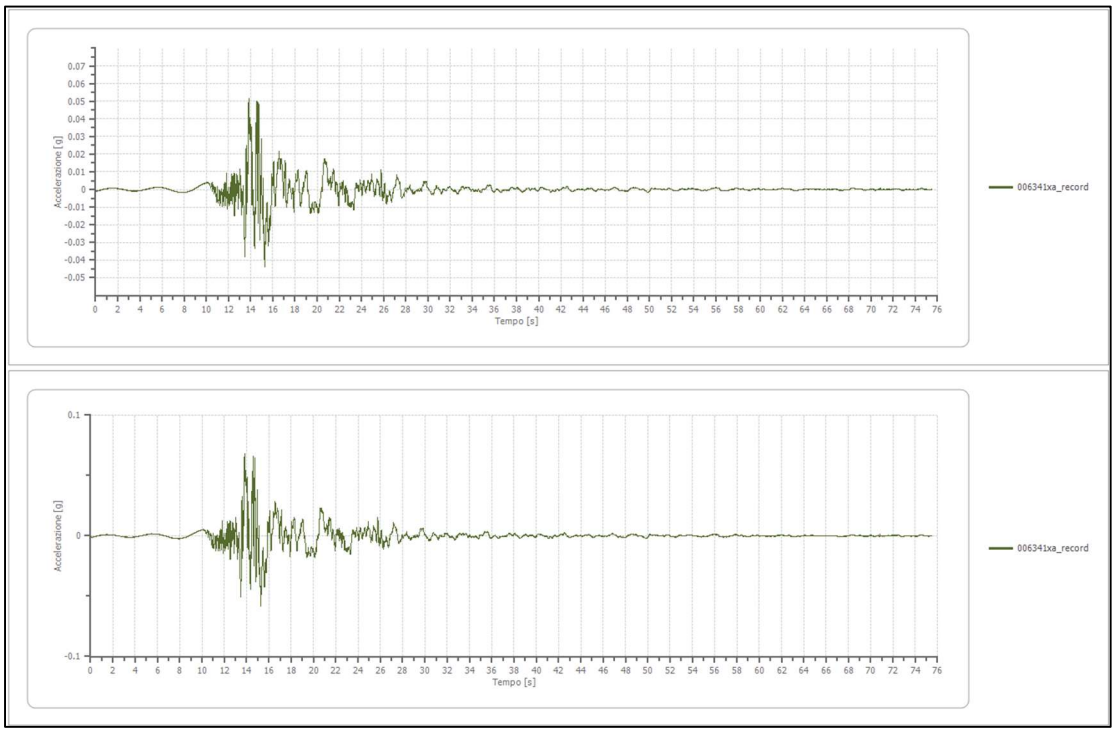


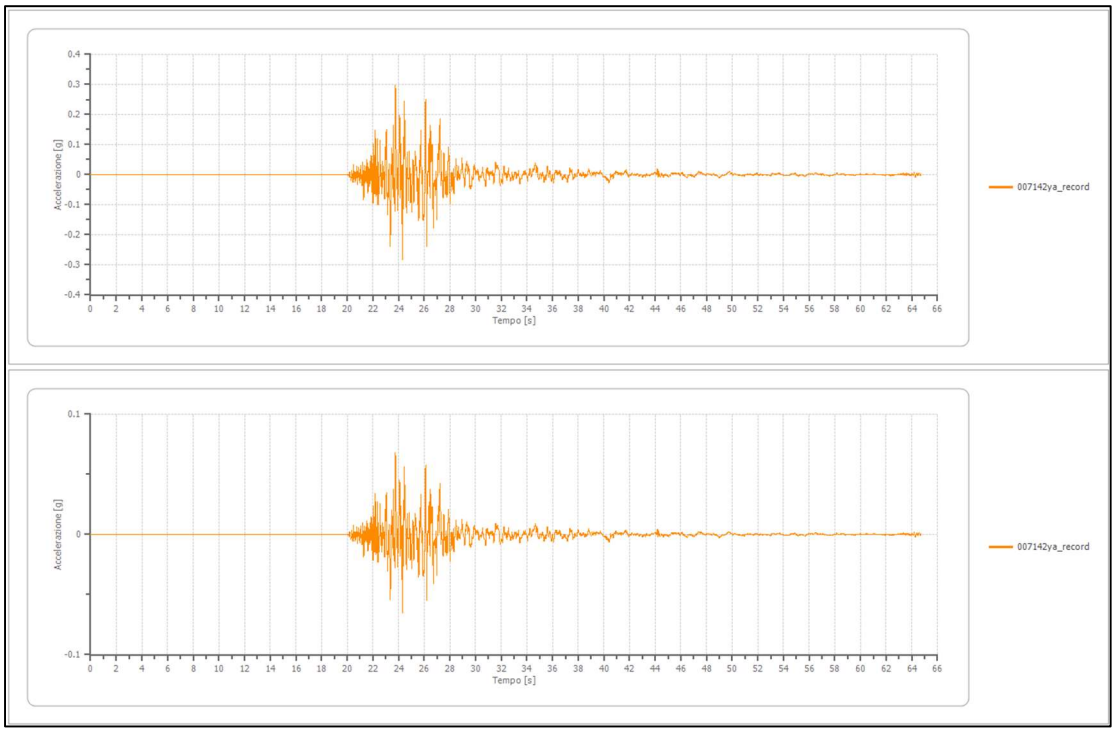



Accelerazione [g]
Tempo [s]
001243xa_record
Accelerazione [g]
Tempo [s]
001243xa_record


Accelerazione [g]
Tempo [s]
001891ya_record
Accelerazione [g]
Tempo [s]
001891ya_record


Accelerazione [g]
Tempo [s]
006104ya_record
Accelerazione [g]
Tempo [s]
006104ya_record


Accelerazione [g]
Tempo [s]
006341xa_record
Accelerazione [g]
Tempo [s]
006341xa_record



RISULTATO DEL MODELLO

- **Elaborazione**

Numero di iterazioni 50

Rapporto tra deformazione a taglio effettiva e deformazione massima 0.5

Tipo di modulo elastico Shake

Massimo errore percentuale di convergenza 2.98 E-04

- **Fattori di amplificazione ICMS 2018**

Tai	0.220	[s]
Tvi	3.800	[s]
Tao	0.220	[s]
Tvo	3.800	[s]
Sami	1.596	[m/s²]
Svmi	0.112	[m/s]
Samo	1.639	[m/s²]
Svmo	0.113	[m/s]
Fa	**1.027**	**[-]**
Fv	**1.008**	**[-]**
TB	0.144	[s]
TC	0.432	[s]
TD	1.854	[s]
SA(0)	0.064	[g]
SA(TB)	0.167	[g]

I fattori di amplificazione sono così determinati:

1. Si determina il periodo di massimo valore dello spettro medio di input TAi e dello spettro medio di output TAo;
2. Si ricavano i valori medi degli spettri di input (SAm,i) e di output (SAm,o) nell'intorno di TAi e di TAo come

$$SA_m = \frac{1}{TA}\int_{0.5TA}^{1.5TA} SA\ (T)dT$$

dove SA è lo spettro medio (SAi di input, SAo di output)

3. Si determinano i periodi proprio TVi e TVo per il quale sono massimi gli spettri di pseudovelocità

$$SV(T) = SA(T)\frac{T}{2\pi}$$

dove SV è lo spettro medio di pseudovelocità (SVi di input, SVo di output)

4. Si calcolano i valori medi degli spettri medi di pseudovelocità o nell'intorno di TVi e di TVo

$$SV_m = \frac{1}{0.4TV}\int_{0.8TV}^{1.2TV} SV\ (T)dT$$

dove SVi è lo spettro medio di pseudovelocità di input ed SVo è lo spettro medio pi pseudovelocità di output.

5. Il valore di FA è pari a

$$FA = \frac{SA_{m,o}}{SA_{m,i}}$$

6. Il valore di FV è pari a

$$FV = \frac{SV_{m,o}}{SV_{m,i}}$$

Per determinare i valori dello spettronormalizzato valgono le seguenti relazioni:

Periodo TC:

$$T_c = \frac{SV_{m,i} FV}{SA_{m,i} FA}$$

Periodo TB:

$$T_B = \frac{1}{3} T_C$$

Valori dello spettro in 0 e in TB

$$SA(0) = SA_i(0) * FA$$
$$SA(T_B) = SA_{m,i} * FA$$

Il ramo dello spettro ad accelerazione spettrale costante, tra TB e TC, ha ordinata pari a SAm,i*FA

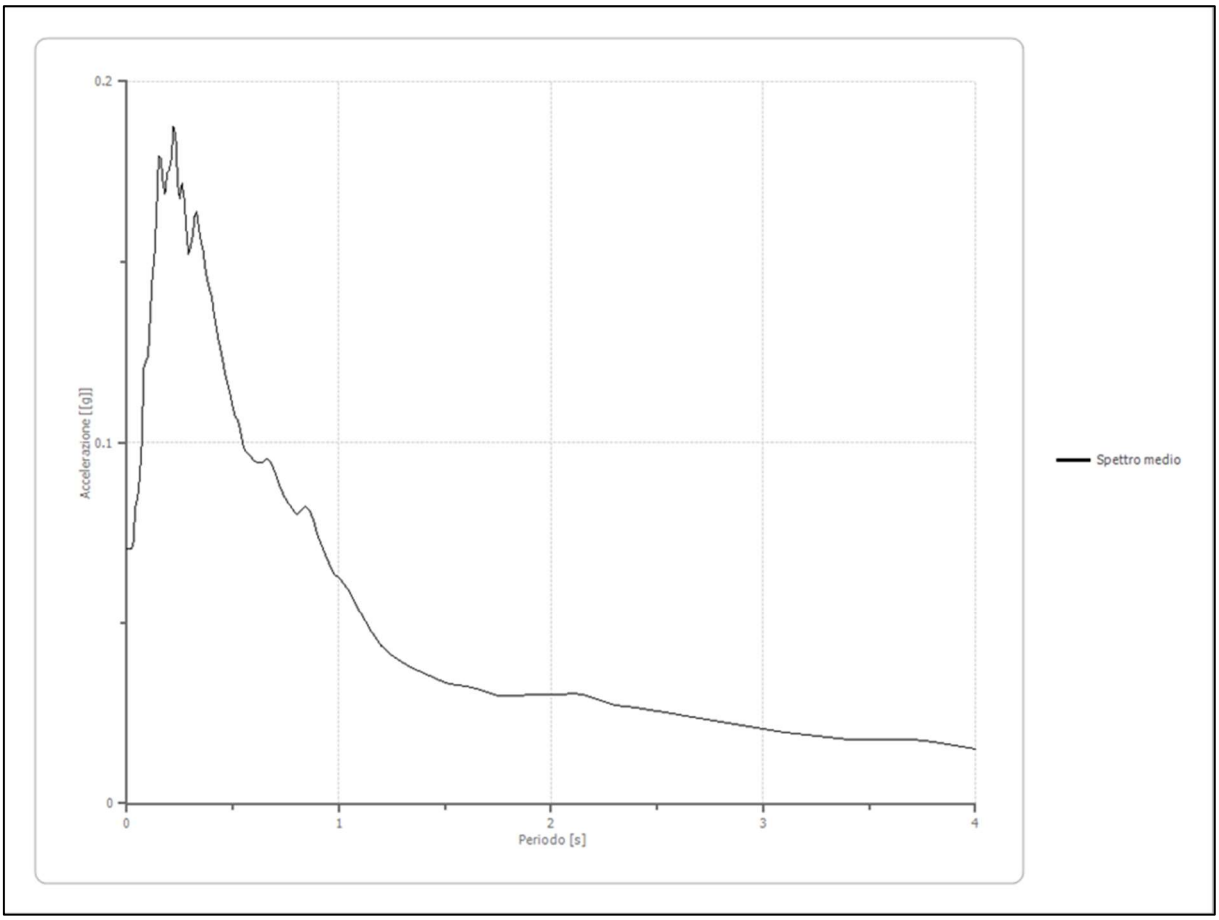
Il ramo dello spettro a velocità costante (T>TC) ha ordinate pari a SAm,i*FA*(TC/T)

- **Fattori di amplificazione su intensità spettrale**

Periodo minino [s]	Periodo massimo [s]	Int. Housner input [m]	Int. Housner output [m]	Int. Housner input/output [m]	FA
0.100	0.500	0.025	0.026	0.200	1.038
0.400	0.800	0.036	0.038	0.500	1.055
0.700	1.100	0.039	0.041	0.636	1.065
0.500	1.500	0.091	0.096	0.333	1.054

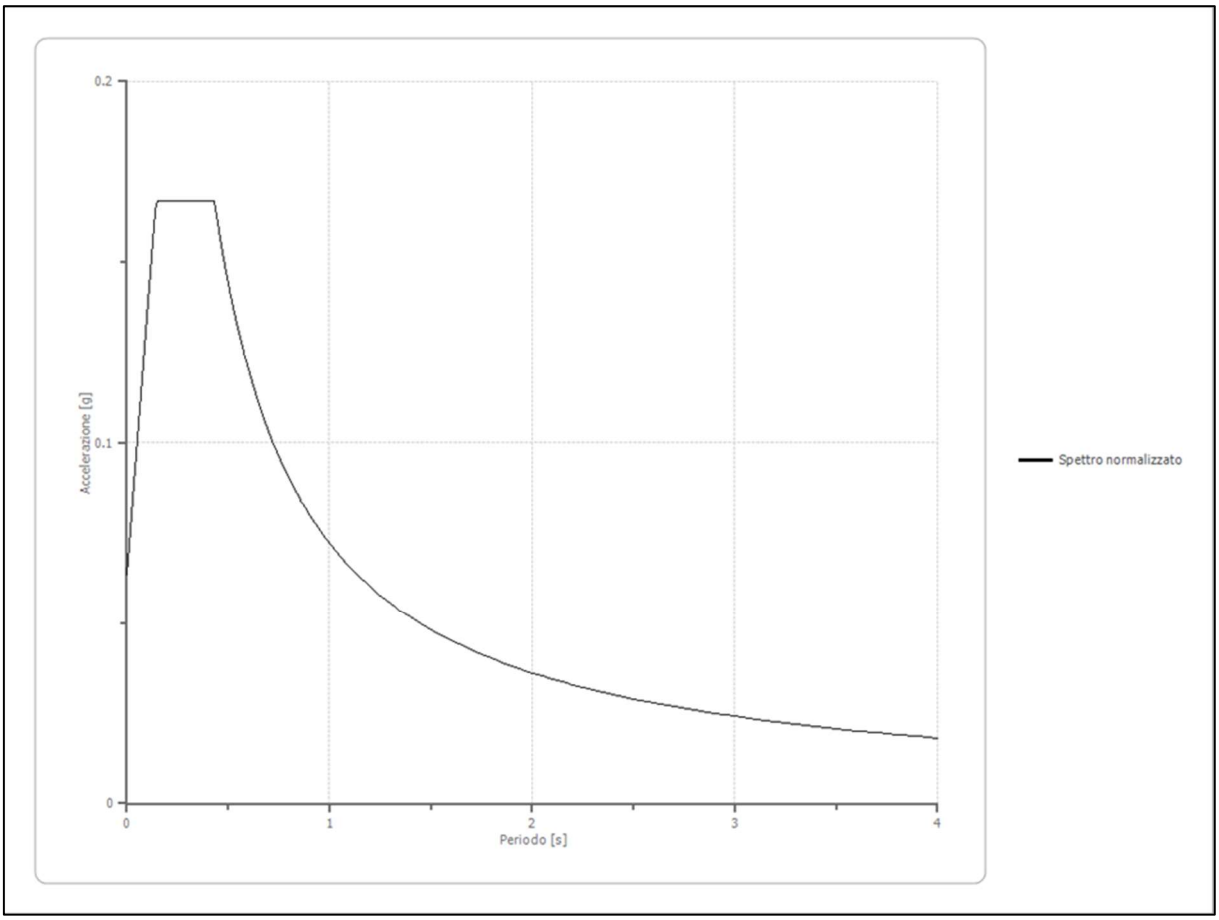
- **Spettro medio di risposta elastico**

Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.0707	0.26	0.1717	0.52	0.1068	0.98	0.0636	2.25	0.0283
0.01	0.0707	0.27	0.1680	0.53	0.1048	1.00	0.0628	2.30	0.0272
0.02	0.0707	0.28	0.1593	0.54	0.1018	1.05	0.0589	2.35	0.0268
0.03	0.0721	0.29	0.1523	0.55	0.0990	1.10	0.0529	2.40	0.0264
0.04	0.0821	0.30	0.1541	0.56	0.0976	1.15	0.0477	2.50	0.0255
0.05	0.0845	0.31	0.1572	0.57	0.0972	1.20	0.0435	2.60	0.0246
0.06	0.0900	0.32	0.1627	0.58	0.0965	1.25	0.0410	2.70	0.0235
0.07	0.0998	0.33	0.1641	0.60	0.0949	1.30	0.0390	2.80	0.0225
0.08	0.1209	0.34	0.1590	0.62	0.0946	1.35	0.0374	2.90	0.0216
0.09	0.1227	0.35	0.1555	0.64	0.0947	1.40	0.0361	3.00	0.0205
0.10	0.1239	0.36	0.1532	0.66	0.0957	1.45	0.0346	3.10	0.0197
0.11	0.1344	0.37	0.1482	0.68	0.0947	1.50	0.0335	3.20	0.0190
0.12	0.1456	0.38	0.1446	0.70	0.0916	1.55	0.0327	3.30	0.0182
0.13	0.1516	0.39	0.1423	0.72	0.0880	1.60	0.0322	3.40	0.0176
0.14	0.1639	0.40	0.1405	0.74	0.0855	1.65	0.0317	3.50	0.0176
0.15	0.1793	0.41	0.1361	0.76	0.0835	1.70	0.0308	3.60	0.0177
0.16	0.1787	0.42	0.1326	0.78	0.0818	1.75	0.0299	3.70	0.0176
0.17	0.1721	0.43	0.1289	0.80	0.0803	1.80	0.0296	3.80	0.0170
0.18	0.1689	0.44	0.1263	0.82	0.0811	1.85	0.0298	3.90	0.0160
0.19	0.1746	0.45	0.1234	0.84	0.0823	1.90	0.0300	4.00	0.0150
0.20	0.1755	0.46	0.1201	0.86	0.0814	1.95	0.0302		
0.21	0.1787	0.47	0.1176	0.88	0.0785	2.00	0.0302		
0.22	0.1877	0.48	0.1151	0.90	0.0744	2.05	0.0302		
0.23	0.1848	0.49	0.1124	0.92	0.0713	2.10	0.0304		
0.24	0.1716	0.50	0.1097	0.94	0.0685	2.15	0.0301		
0.25	0.1677	0.51	0.1075	0.96	0.0657	2.20	0.0293		


0.2
0.1
0
Accelerazione [[g]]
0
1
2
3
4
Periodo [s]
Spettro medio

- **Spettro normalizzato di risposta elastico**

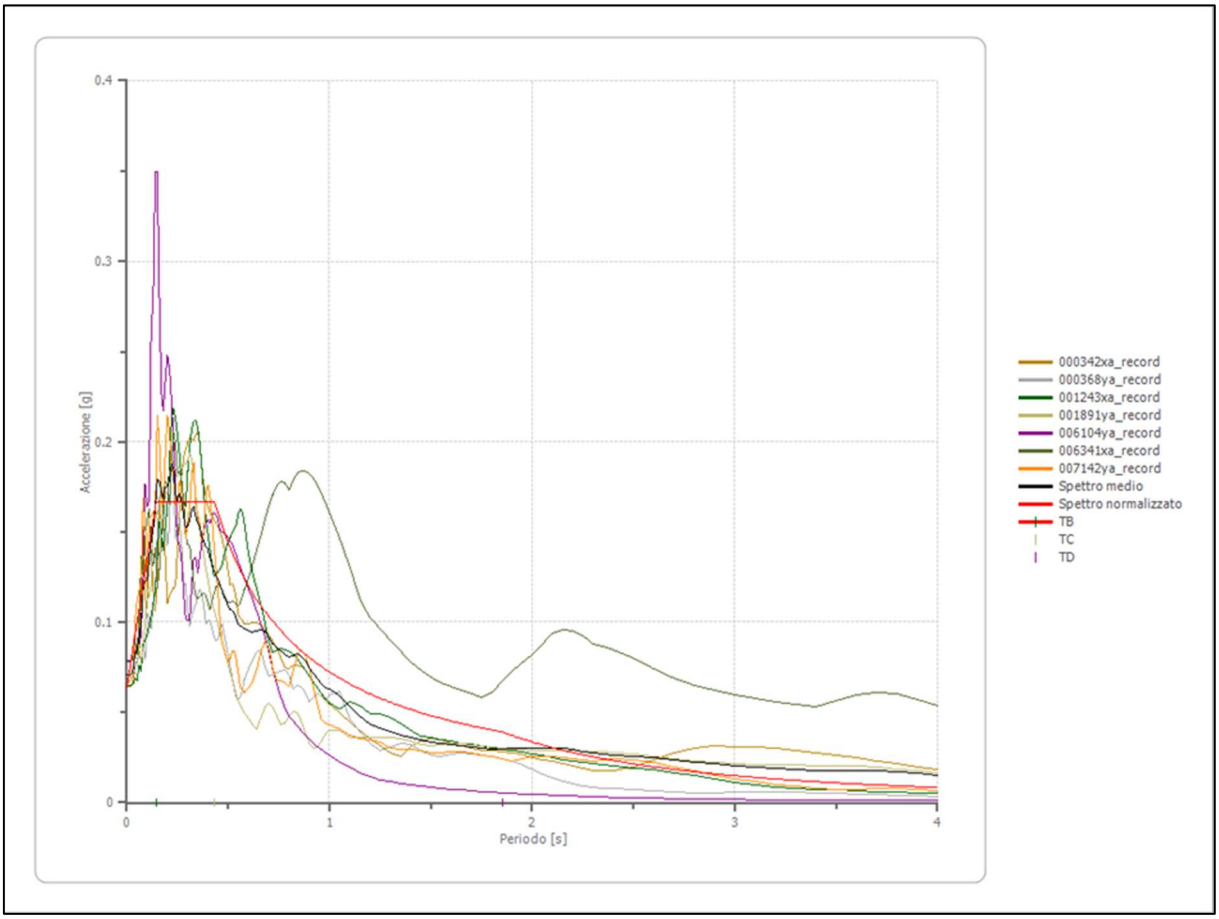
Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.0635	0.26	0.1671	0.52	0.1388	0.98	0.0737	2.25	0.0321
0.01	0.0707	0.27	0.1671	0.53	0.1362	1.00	0.0722	2.30	0.0314
0.02	0.0779	0.28	0.1671	0.54	0.1337	1.05	0.0687	2.35	0.0307
0.03	0.0851	0.29	0.1671	0.55	0.1312	1.10	0.0656	2.40	0.0301
0.04	0.0923	0.30	0.1671	0.56	0.1289	1.15	0.0628	2.50	0.0289
0.05	0.0995	0.31	0.1671	0.57	0.1266	1.20	0.0602	2.60	0.0278
0.06	0.1067	0.32	0.1671	0.58	0.1245	1.25	0.0577	2.70	0.0267
0.07	0.1139	0.33	0.1671	0.60	0.1203	1.30	0.0555	2.80	0.0258
0.08	0.1210	0.34	0.1671	0.62	0.1164	1.35	0.0535	2.90	0.0249
0.09	0.1282	0.35	0.1671	0.64	0.1128	1.40	0.0516	3.00	0.0241
0.10	0.1354	0.36	0.1671	0.66	0.1094	1.45	0.0498	3.10	0.0233
0.11	0.1426	0.37	0.1671	0.68	0.1061	1.50	0.0481	3.20	0.0226
0.12	0.1498	0.38	0.1671	0.70	0.1031	1.55	0.0466	3.30	0.0219
0.13	0.1570	0.39	0.1671	0.72	0.1003	1.60	0.0451	3.40	0.0212
0.14	0.1642	0.40	0.1671	0.74	0.0975	1.65	0.0437	3.50	0.0206
0.15	0.1671	0.41	0.1671	0.76	0.0950	1.70	0.0425	3.60	0.0201
0.16	0.1671	0.42	0.1671	0.78	0.0925	1.75	0.0412	3.70	0.0195
0.17	0.1671	0.43	0.1671	0.80	0.0902	1.80	0.0401	3.80	0.0190
0.18	0.1671	0.44	0.1640	0.82	0.0880	1.85	0.0390	3.90	0.0185
0.19	0.1671	0.45	0.1604	0.84	0.0859	1.90	0.0380	4.00	0.0180
0.20	0.1671	0.46	0.1569	0.86	0.0839	1.95	0.0370		
0.21	0.1671	0.47	0.1536	0.88	0.0820	2.00	0.0361		
0.22	0.1671	0.48	0.1504	0.90	0.0802	2.05	0.0352		
0.23	0.1671	0.49	0.1473	0.92	0.0785	2.10	0.0344		
0.24	0.1671	0.50	0.1444	0.94	0.0768	2.15	0.0336		
0.25	0.1671	0.51	0.1415	0.96	0.0752	2.20	0.0328		



- **Parametri spettro normalizzato**

Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]	S
0.064	2.6294	--	0.144	0.432	1.854	0.064	0.167	0.948

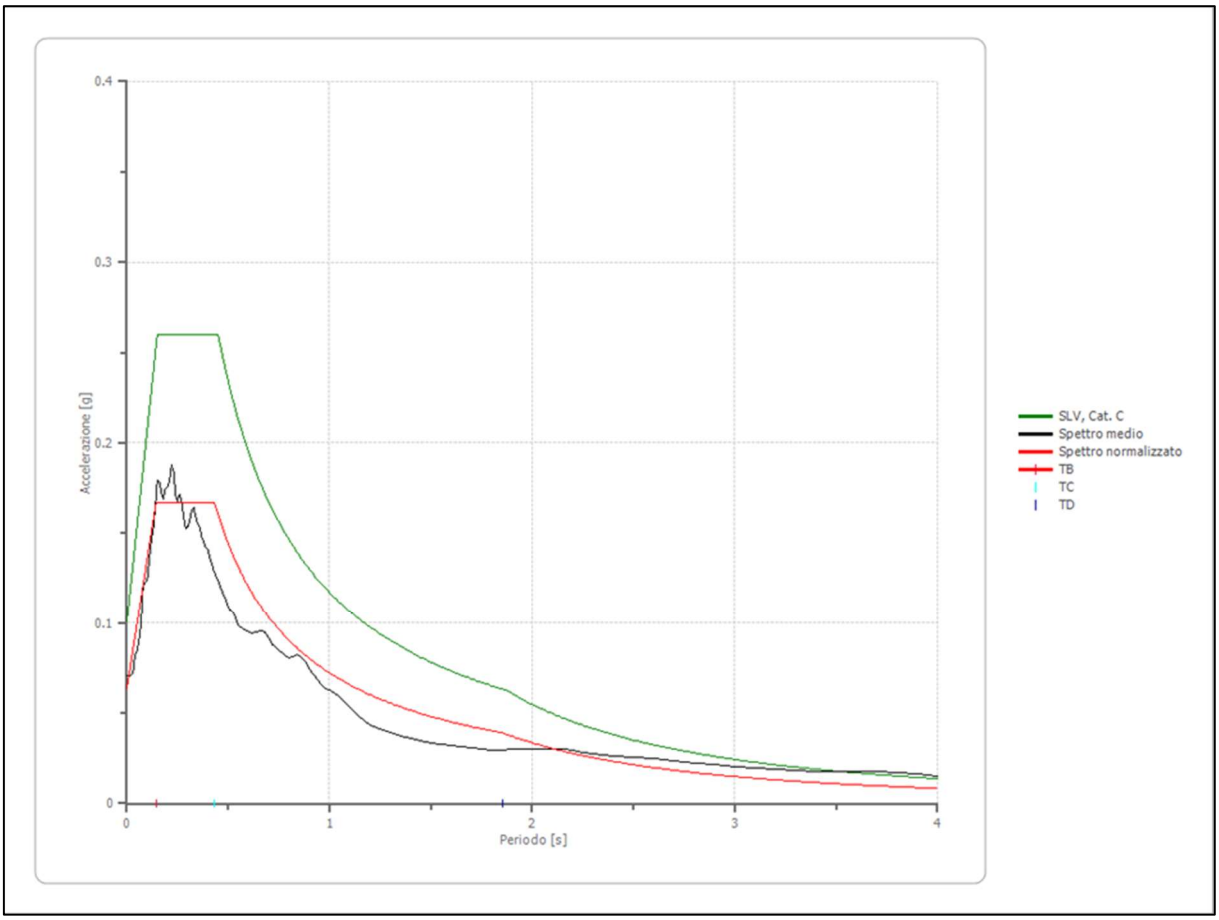
- **Confronto tra gli spettri**



- **Confronto spettro normativa**

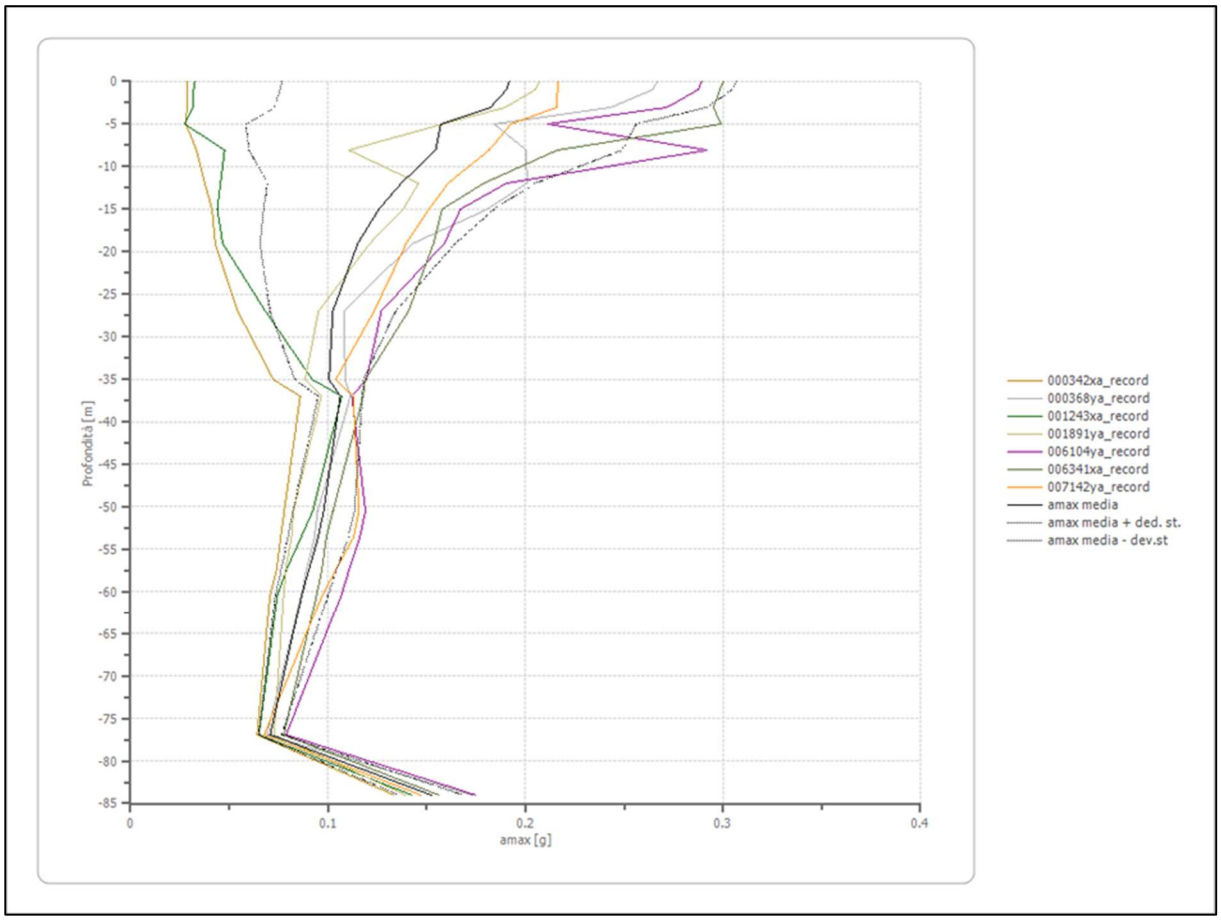
Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

	Operatività SLO	Danno SLD	Salvaguardia vita SLV	Prev. collasso SLC
Tr [anni]	30	50	475	975
ag [g]	0.023	0.030	0.067	0.086
Fo	2.528	2.526	2.587	2.594
Tc* [s]	0.181	0.205	0.283	0.294
Ss	1.50	1.50	1.50	1.50
St	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	1.85	1.77	1.59	1.57
TB [s]	0.111	0.121	0.150	0.154
TC [s]	0.334	0.363	0.451	0.462
TD [s]	1.692	1.720	1.868	1.944
Se(0) [g]	0.035	0.045	0.101	0.129
Se(TB) [g]	0.087	0.114	0.260	0.335



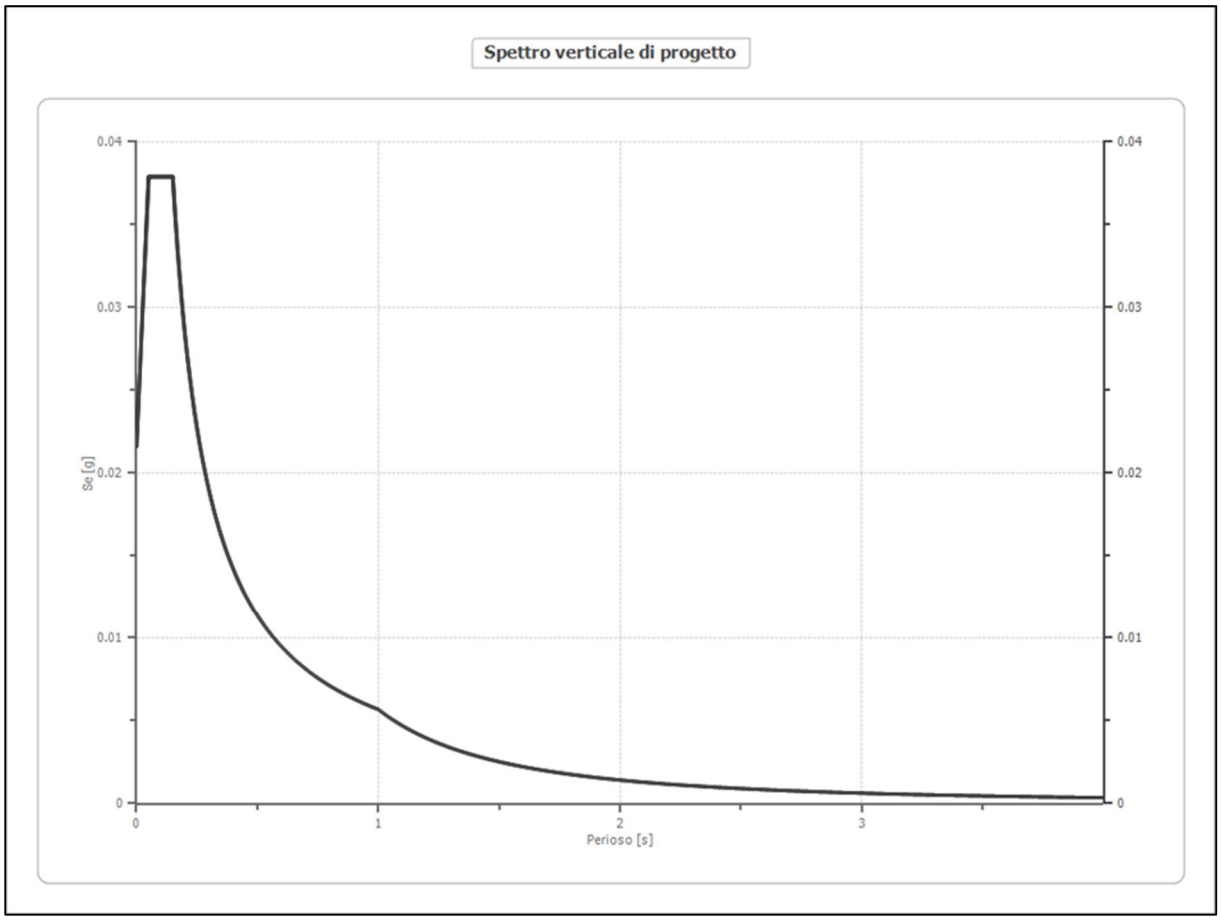
- **Profilo a max**

	0.0 [m]	1.0 [m]	3.0 [m]	5.0 [m]	8.0 [m]	12.0 [m]	15.0 [m]	19.0 [m]	27.0 [m]	35.0 [m]	37.0 [m]	50.5 [m]	53.5 [m]	57.5 [m]	60.5 [m]	77.0 [m]	84.0 [m]
000342xa_record [g]	0.029	0.029	0.029	0.028	0.033	0.038	0.041	0.043	0.054	0.072	0.086	0.078	0.076	0.074	0.071	0.064	0.133
000368ya_record [g]	0.267	0.264	0.243	0.184	0.200	0.201	0.181	0.143	0.108	0.109	0.111	0.095	0.093	0.089	0.087	0.069	0.173
001243xa_record [g]	0.033	0.032	0.032	0.027	0.048	0.046	0.044	0.047	0.068	0.092	0.107	0.092	0.086	0.079	0.074	0.065	0.143
001891ya_record [g]	0.207	0.205	0.190	0.158	0.110	0.146	0.138	0.121	0.095	0.088	0.097	0.083	0.082	0.079	0.077	0.073	0.139
006104ya_record [g]	0.289	0.287	0.272	0.211	0.292	0.190	0.167	0.159	0.127	0.119	0.112	0.119	0.116	0.111	0.107	0.079	0.175
006341xa_record [g]	0.300	0.298	0.295	0.299	0.216	0.179	0.158	0.153	0.141	0.119	0.118	0.103	0.099	0.097	0.094	0.078	0.156
007142ya_record [g]	0.217	0.216	0.216	0.193	0.182	0.161	0.151	0.140	0.123	0.104	0.113	0.116	0.113	0.104	0.097	0.068	0.147
media [g]	0.192	0.190	0.182	0.157	0.154	0.137	0.126	0.115	0.102	0.101	0.106	0.098	0.095	0.090	0.087	0.071	0.152
Dev. St. [g]	0.115	0.114	0.109	0.099	0.094	0.068	0.058	0.049	0.032	0.017	0.011	0.016	0.015	0.014	0.013	0.006	0.016



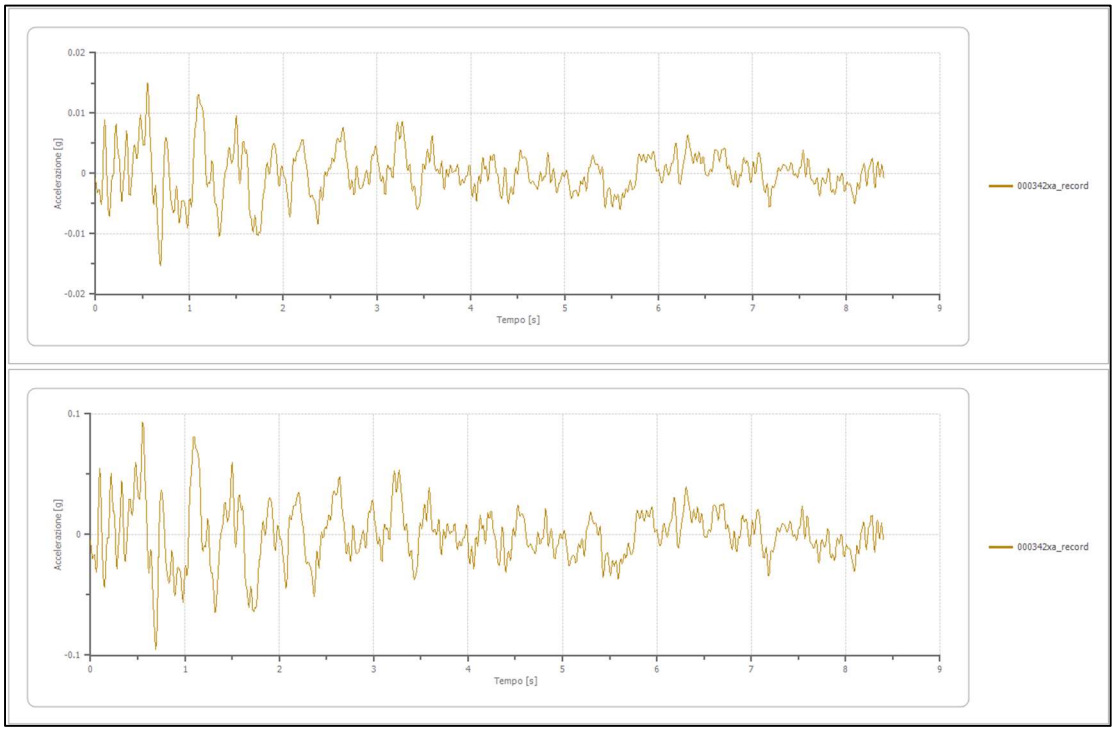
- **Spettro verticale di progetto**

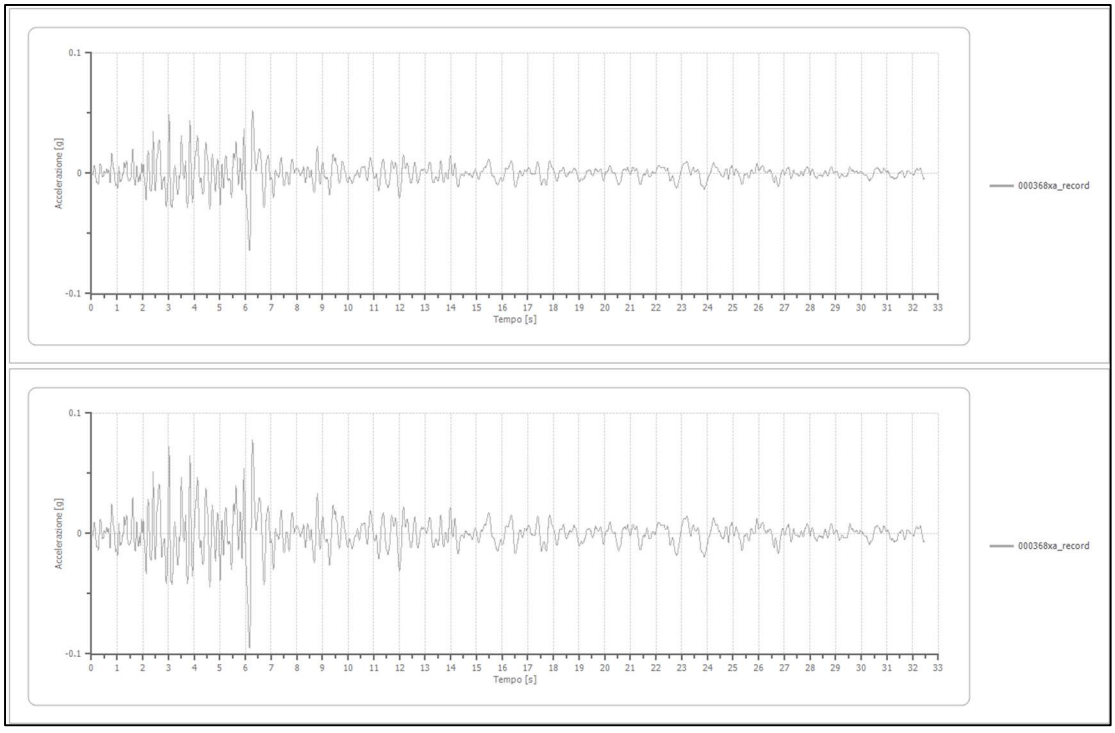
Ag [g]	F0	Tc*	Fv	q	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
0.064	2.629	0.150	0.895	1.5	0.050	0.150	1.000	0.022	0.038

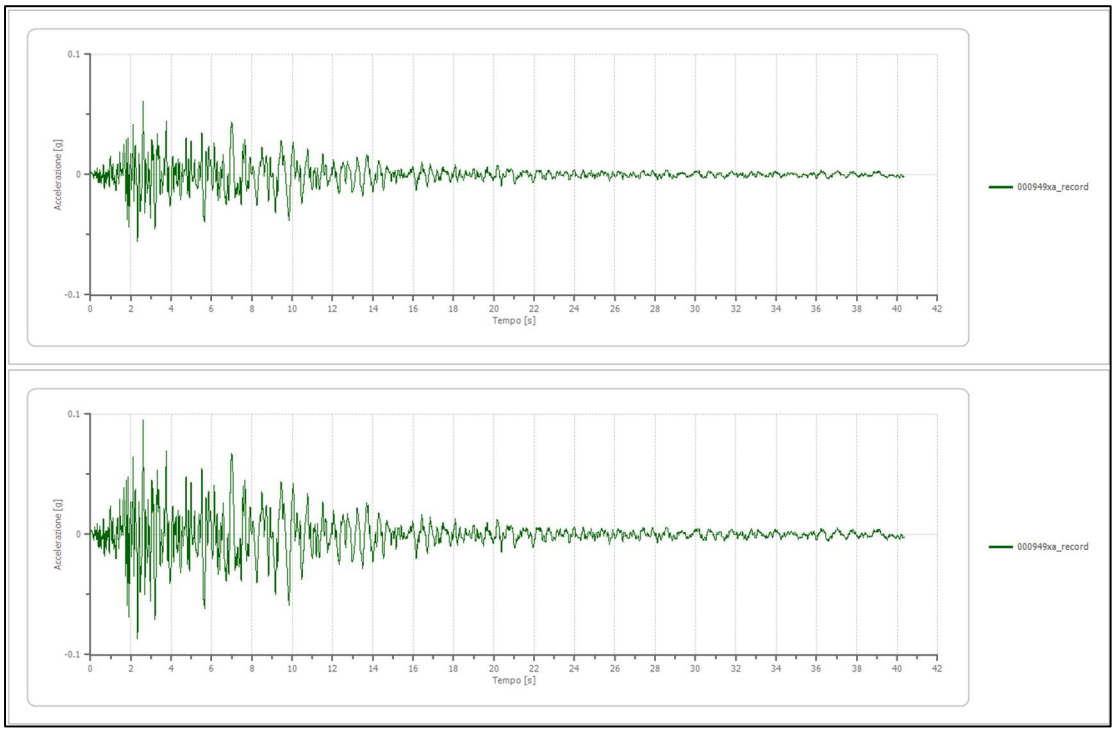

Spettro verticale di progetto
0.04
0.03
0.02
0.01
0
Se [g]
0
1
2
3
Perioso [s]

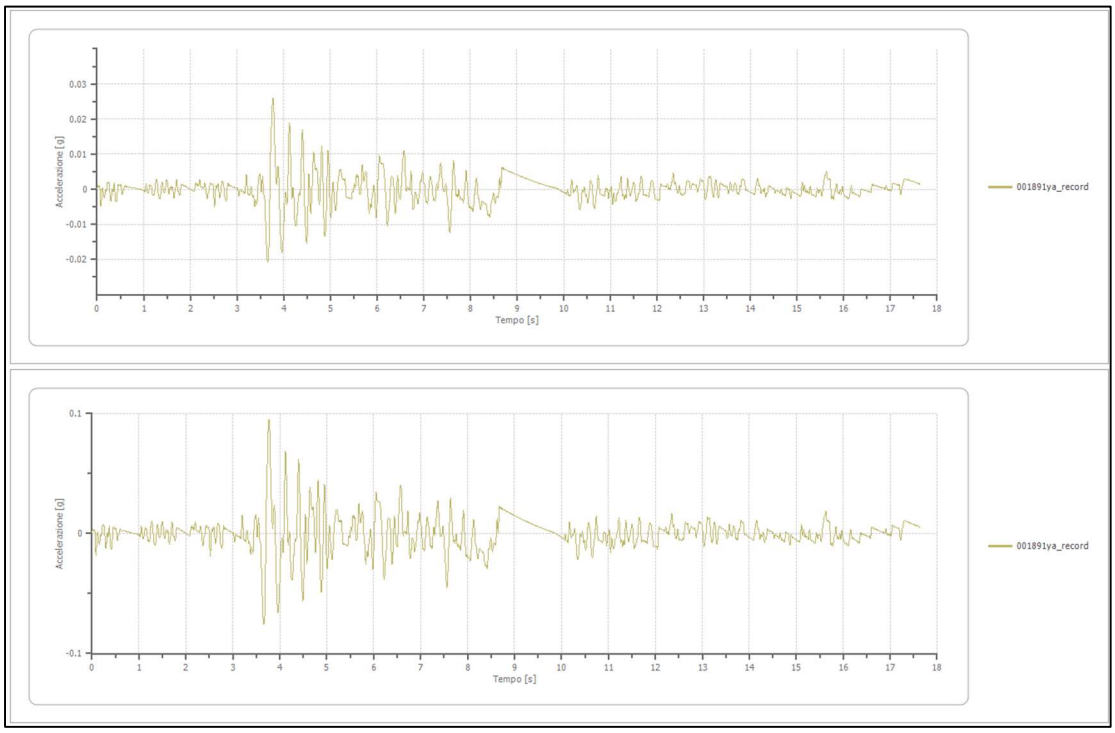
7.2.11 MODELLO REALIZZATO CON GLI 7 ACCELEROGRAMMI ALLO SLC

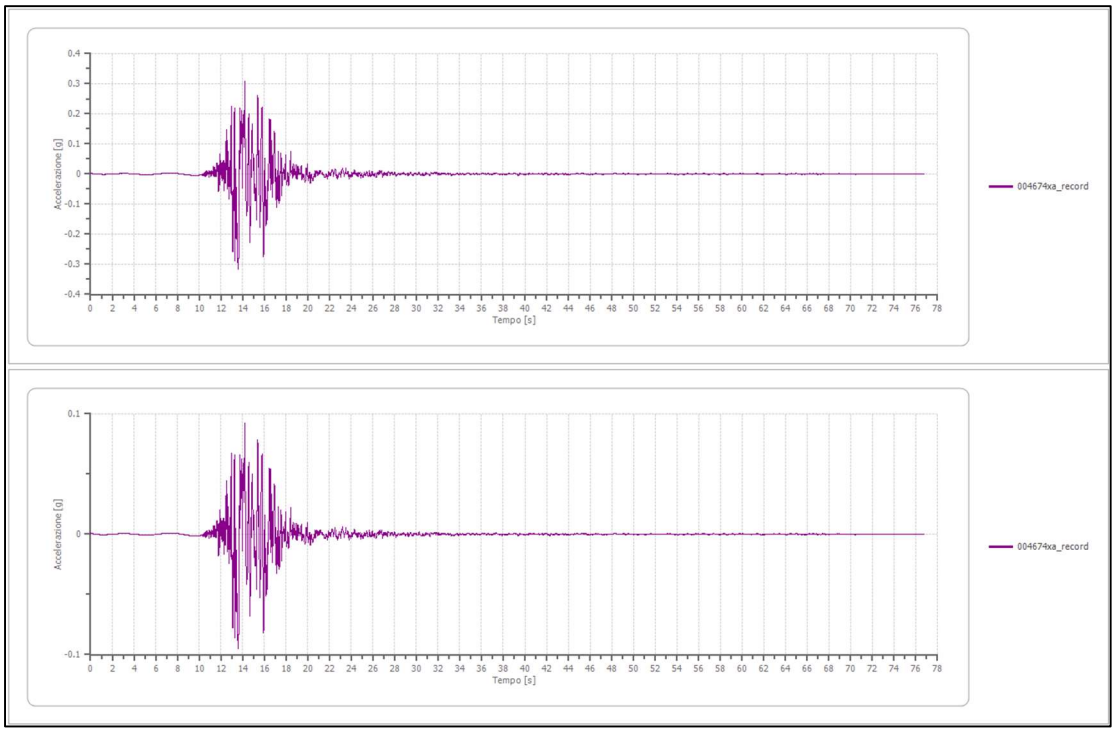
Nelle immagini seguenti si riportano gli accelerogrammi ricavati da rexel

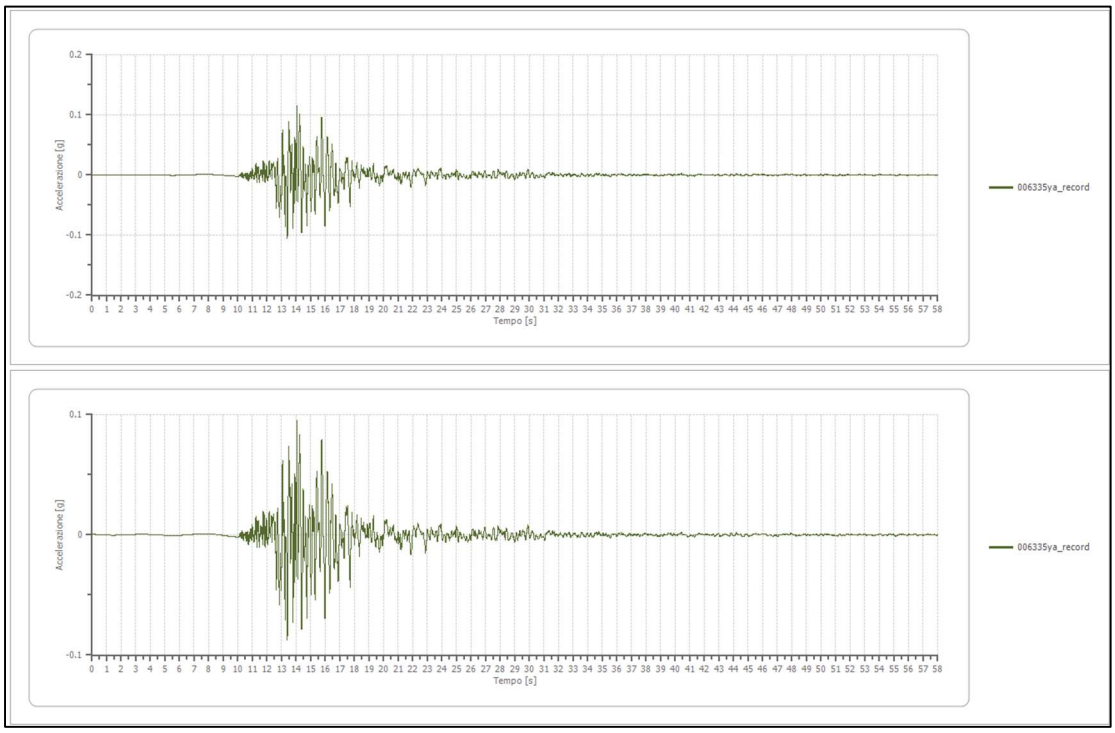


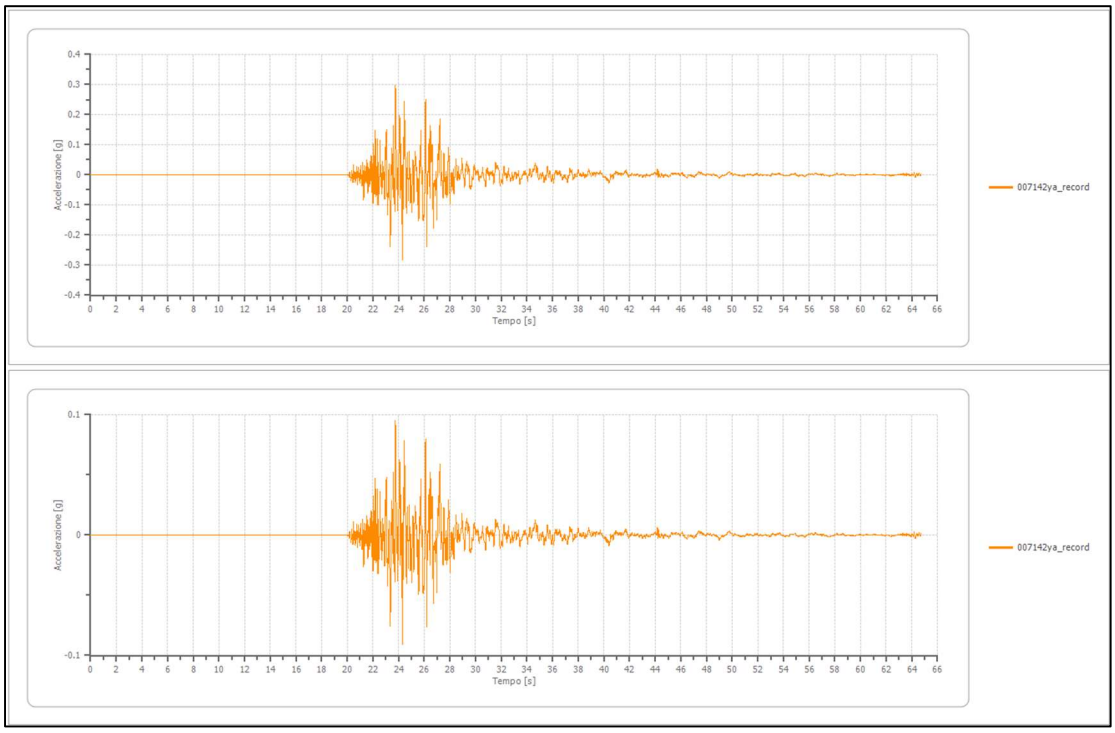



Accelerazione [g]
Tempo [s]
000949xa_record
Accelerazione [g]
Tempo [s]
000949xa_record


Accelerazione [g]
Tempo [s]
001891ya_record
Accelerazione [g]
Tempo [s]
001891ya_record


Accelerazione [g]
Tempo [s]
004674xa_record
Accelerazione [g]
Tempo [s]
004674xa_record


Accelerazione [g]
Tempo [s]
006335ya_record
Accelerazione [g]
Tempo [s]
006335ya_record



RISULTATO DEL MODELLO

- **Elaborazione**

Numero di iterazioni 50

Rapporto tra deformazione a taglio effettiva e deformazione massima 0.5

Tipo di modulo elastico Shake

Massimo errore percentuale di convergenza 3.95 E-04

- **Fattori di amplificazione ICMS 2018**

Tai	0.310	[s]
Tvi	1.950	[s]
Tao	0.220	[s]
Tvo	1.950	[s]
Sami	2.232	[m/s²]
Svmi	0.143	[m/s]
Samo	2.406	[m/s²]
Svmo	0.147	[m/s]
Fa	**1.078**	**[-]**
Fv	**1.025**	**[-]**
TB	0.128	[s]
TC	0.383	[s]
TD	1.931	[s]
SA(0)	0.083	[g]
SA(TB)	0.245	[g]

I fattori di amplificazione sono così determinati:

1. Si determina il periodo di massimo valore dello spettro medio di input TAi e dello spettro medio di output TAo;
2. Si ricavano i valori medi degli spettri di input (SAm,i) e di output (SAm,o) nell'intorno di TAi e di TAo come

$$SA_m = \frac{1}{TA}\int_{0.5TA}^{1.5TA} SA\ (T)dT$$

dove SA è lo spettro medio (SAi di input, SAo di output)

3. Si determinano i periodi proprio TVi e TVo per il quale sono massimi gli spettri di pseudovelocità

$$SV(T) = SA(T)\frac{T}{2\pi}$$

dove SV è lo spettro medio di pseudovelocità (SVi di input, SVo di output)

4. Si calcolano i valori medi degli spettri medi di pseudovelocità o nell'intorno di TVi e di TVo

$$SV_m = \frac{1}{0.4TV}\int_{0.8TV}^{1.2TV} SV\ (T)dT$$

dove SVi è lo spettro medio di pseudovelocità di input ed SVo è lo spettro medio pi pseudovelocità di output.

5. Il valore di FA è pari a

$$FA = \frac{SA_{m,o}}{SA_{m,i}}$$

6. Il valore di FV è pari a

$$FV = \frac{SV_{m,o}}{SV_{m,i}}$$

Per determinare i valori dello spettronormalizzato valgono le seguenti relazioni:

Periodo TC:

$$T_c = \frac{SV_{m,i} FV}{SA_{m,i} FA}$$

Periodo TB:

$$T_B = \frac{1}{3} T_C$$

Valori dello spettro in 0 e in TB

$$SA(0) = SA_i(0) * FA$$
$$SA(T_B) = SA_{m,i} * FA$$

Il ramo dello spettro ad accelerazione spettrale costante, tra TB e TC, ha ordinata pari a SAm,i*FA

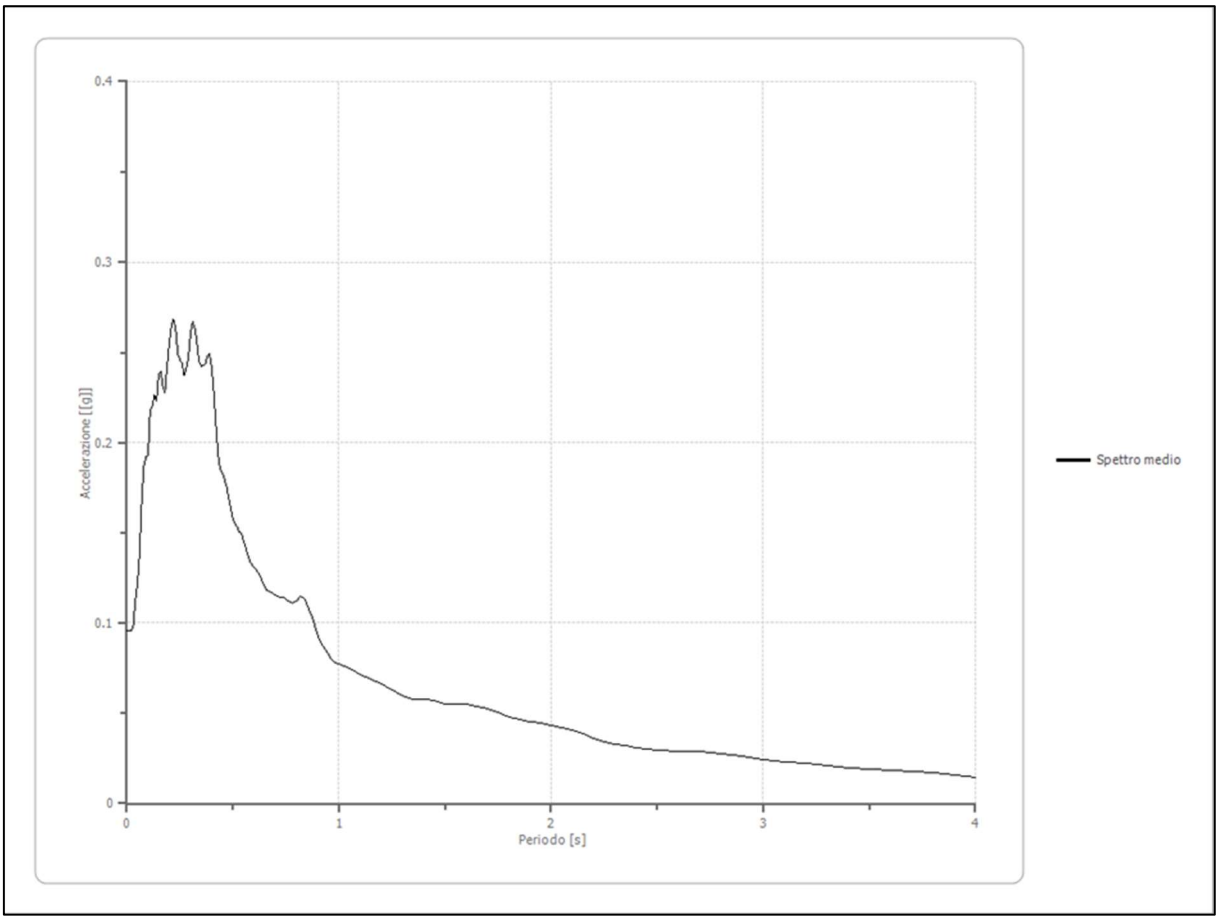
Il ramo dello spettro a velocità costante (T>TC) ha ordinate pari a SAm,i*FA*(TC/T)

- **Fattori di amplificazione su intensità spettrale**

Periodo minino [s]	Periodo massimo [s]	Int. Housner input [m]	Int. Housner output [m]	Int. Housner input/output [m]	FA
0.100	0.500	0.039	0.041	0.200	1.046
0.400	0.800	0.050	0.052	0.500	1.047
0.700	1.100	0.052	0.055	0.636	1.068
0.500	1.500	0.129	0.135	0.333	1.046

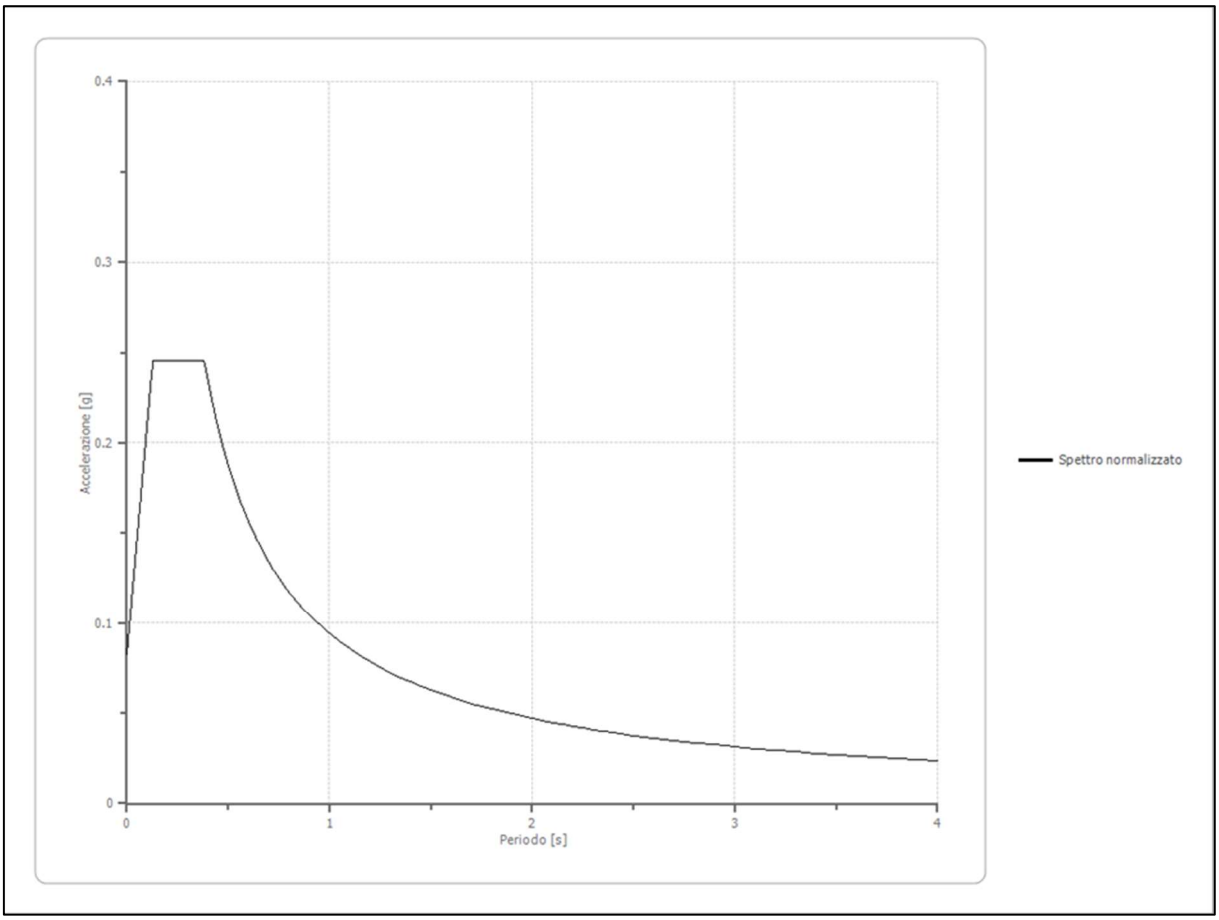
- **Spettro medio di risposta elastico**

Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.0954	0.26	0.2441	0.52	0.1539	0.98	0.0780	2.25	0.0343
0.01	0.0954	0.27	0.2379	0.53	0.1503	1.00	0.0773	2.30	0.0329
0.02	0.0954	0.28	0.2411	0.54	0.1496	1.05	0.0747	2.35	0.0319
0.03	0.0980	0.29	0.2475	0.55	0.1458	1.10	0.0712	2.40	0.0309
0.04	0.1123	0.30	0.2604	0.56	0.1422	1.15	0.0686	2.50	0.0293
0.05	0.1227	0.31	0.2668	0.57	0.1382	1.20	0.0658	2.60	0.0291
0.06	0.1391	0.32	0.2640	0.58	0.1341	1.25	0.0631	2.70	0.0285
0.07	0.1680	0.33	0.2561	0.60	0.1312	1.30	0.0598	2.80	0.0275
0.08	0.1874	0.34	0.2458	0.62	0.1281	1.35	0.0577	2.90	0.0261
0.09	0.1926	0.35	0.2424	0.64	0.1228	1.40	0.0574	3.00	0.0243
0.10	0.1933	0.36	0.2430	0.66	0.1187	1.45	0.0567	3.10	0.0232
0.11	0.2178	0.37	0.2433	0.68	0.1174	1.50	0.0550	3.20	0.0220
0.12	0.2207	0.38	0.2484	0.70	0.1157	1.55	0.0550	3.30	0.0208
0.13	0.2264	0.39	0.2495	0.72	0.1148	1.60	0.0549	3.40	0.0197
0.14	0.2234	0.40	0.2415	0.74	0.1143	1.65	0.0539	3.50	0.0189
0.15	0.2382	0.41	0.2277	0.76	0.1128	1.70	0.0522	3.60	0.0183
0.16	0.2397	0.42	0.2092	0.78	0.1115	1.75	0.0501	3.70	0.0177
0.17	0.2314	0.43	0.1937	0.80	0.1129	1.80	0.0479	3.80	0.0168
0.18	0.2279	0.44	0.1855	0.82	0.1149	1.85	0.0464	3.90	0.0158
0.19	0.2431	0.45	0.1830	0.84	0.1135	1.90	0.0453	4.00	0.0147
0.20	0.2551	0.46	0.1801	0.86	0.1074	1.95	0.0444		
0.21	0.2653	0.47	0.1761	0.88	0.1005	2.00	0.0434		
0.22	0.2682	0.48	0.1693	0.90	0.0932	2.05	0.0419		
0.23	0.2628	0.49	0.1635	0.92	0.0879	2.10	0.0403		
0.24	0.2495	0.50	0.1576	0.94	0.0841	2.15	0.0383		
0.25	0.2462	0.51	0.1553	0.96	0.0808	2.20	0.0361		


0.4
0.3
0.2
0.1
0
Accelerazione [[g]]
0
1
2
3
4
Periodo [s]
Spettro medio

- **Spettro normalizzato di risposta elastico**

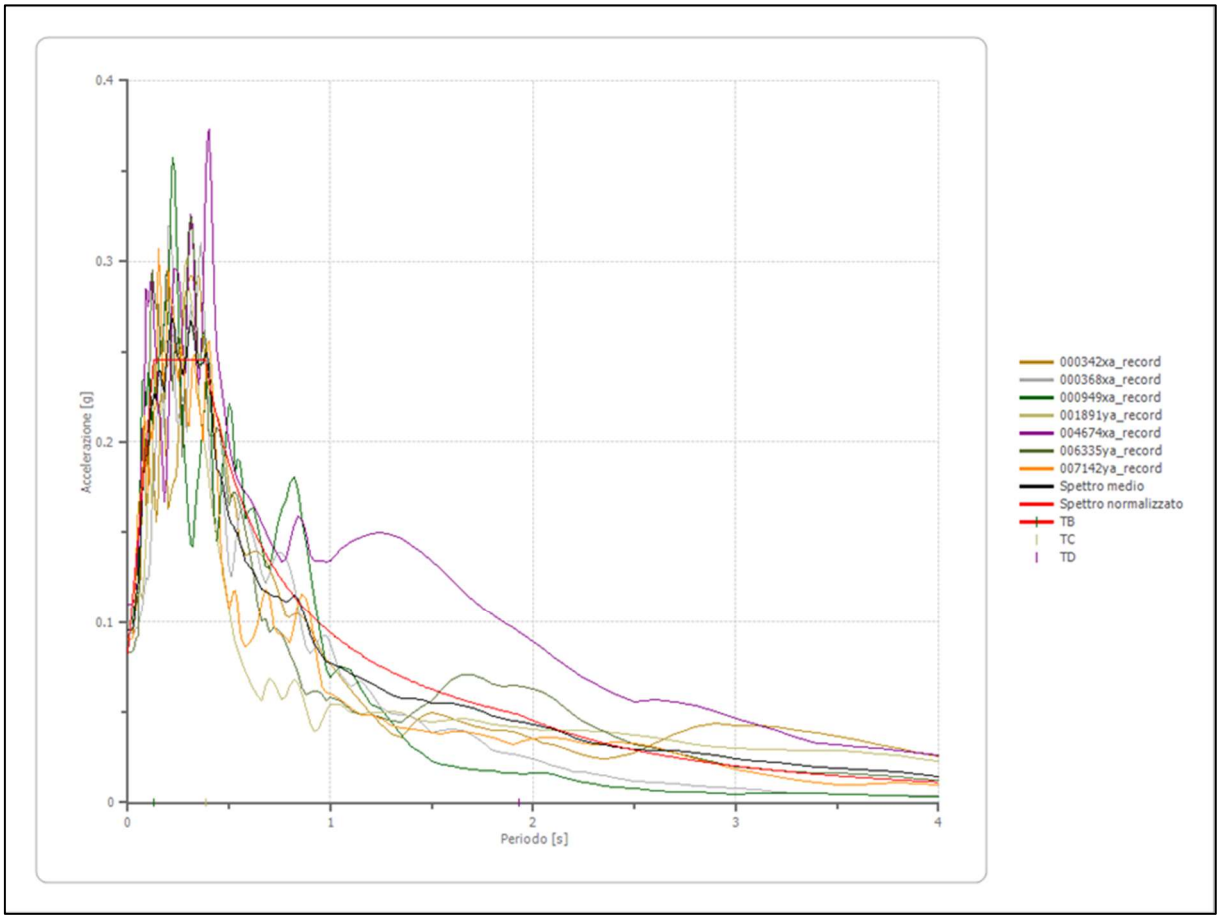
Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.0827	0.26	0.2453	0.52	0.1808	0.98	0.0959	2.25	0.0418
0.01	0.0954	0.27	0.2453	0.53	0.1774	1.00	0.0940	2.30	0.0409
0.02	0.1081	0.28	0.2453	0.54	0.1741	1.05	0.0895	2.35	0.0400
0.03	0.1209	0.29	0.2453	0.55	0.1709	1.10	0.0855	2.40	0.0392
0.04	0.1336	0.30	0.2453	0.56	0.1679	1.15	0.0817	2.50	0.0376
0.05	0.1463	0.31	0.2453	0.57	0.1649	1.20	0.0783	2.60	0.0362
0.06	0.1591	0.32	0.2453	0.58	0.1621	1.25	0.0752	2.70	0.0348
0.07	0.1718	0.33	0.2453	0.60	0.1567	1.30	0.0723	2.80	0.0336
0.08	0.1845	0.34	0.2453	0.62	0.1516	1.35	0.0696	2.90	0.0324
0.09	0.1973	0.35	0.2453	0.64	0.1469	1.40	0.0671	3.00	0.0313
0.10	0.2100	0.36	0.2453	0.66	0.1424	1.45	0.0648	3.10	0.0303
0.11	0.2227	0.37	0.2453	0.68	0.1382	1.50	0.0627	3.20	0.0294
0.12	0.2355	0.38	0.2453	0.70	0.1343	1.55	0.0606	3.30	0.0285
0.13	0.2453	0.39	0.2410	0.72	0.1306	1.60	0.0587	3.40	0.0276
0.14	0.2453	0.40	0.2350	0.74	0.1270	1.65	0.0570	3.50	0.0269
0.15	0.2453	0.41	0.2293	0.76	0.1237	1.70	0.0553	3.60	0.0261
0.16	0.2453	0.42	0.2238	0.78	0.1205	1.75	0.0537	3.70	0.0254
0.17	0.2453	0.43	0.2186	0.80	0.1175	1.80	0.0522	3.80	0.0247
0.18	0.2453	0.44	0.2136	0.82	0.1146	1.85	0.0508	3.90	0.0241
0.19	0.2453	0.45	0.2089	0.84	0.1119	1.90	0.0495	4.00	0.0235
0.20	0.2453	0.46	0.2043	0.86	0.1093	1.95	0.0482		
0.21	0.2453	0.47	0.2000	0.88	0.1068	2.00	0.0470		
0.22	0.2453	0.48	0.1958	0.90	0.1044	2.05	0.0459		
0.23	0.2453	0.49	0.1918	0.92	0.1022	2.10	0.0448		
0.24	0.2453	0.50	0.1880	0.94	0.1000	2.15	0.0437		
0.25	0.2453	0.51	0.1843	0.96	0.0979	2.20	0.0427		



- **Parametri spettro normalizzato**

Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]	S
0.083	2.967589	--	0.128	0.383	1.931	0.083	0.245	0.961

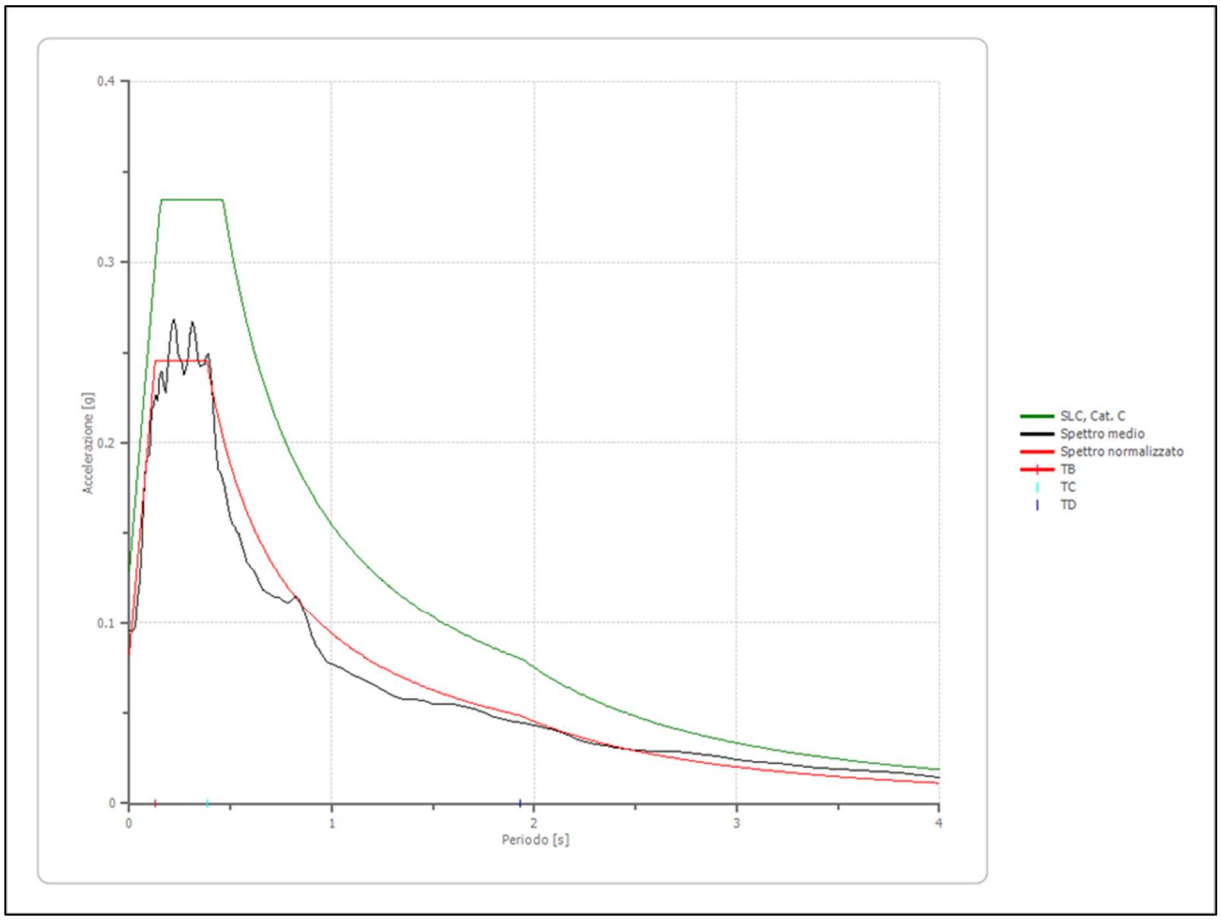
- **Confronto tra gli spettri**



- **Confronto spettro normativa**

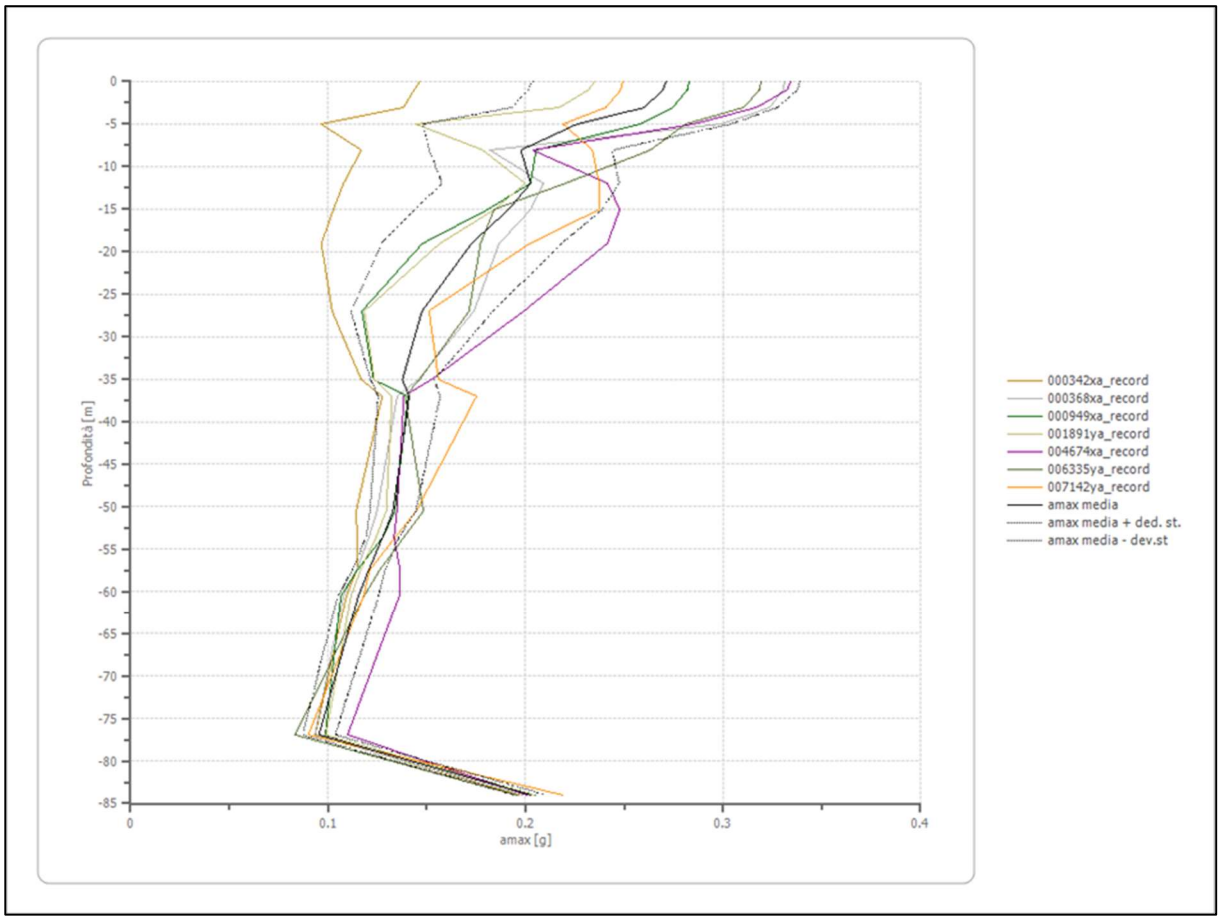
Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

	Operatività SLO	Danno SLD	Salvaguardia vita SLV	Prev. collasso SLC
Tr [anni]	30	50	475	975
ag [g]	0.023	0.030	0.067	0.086
Fo	2.528	2.526	2.587	2.594
Tc* [s]	0.181	0.205	0.283	0.294
Ss	1.50	1.50	1.50	1.50
St	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	1.85	1.77	1.59	1.57
TB [s]	0.111	0.121	0.150	0.154
TC [s]	0.334	0.363	0.451	0.462
TD [s]	1.692	1.720	1.868	1.944
Se(0) [g]	0.035	0.045	0.101	0.129
Se(TB) [g]	0.087	0.114	0.260	0.335



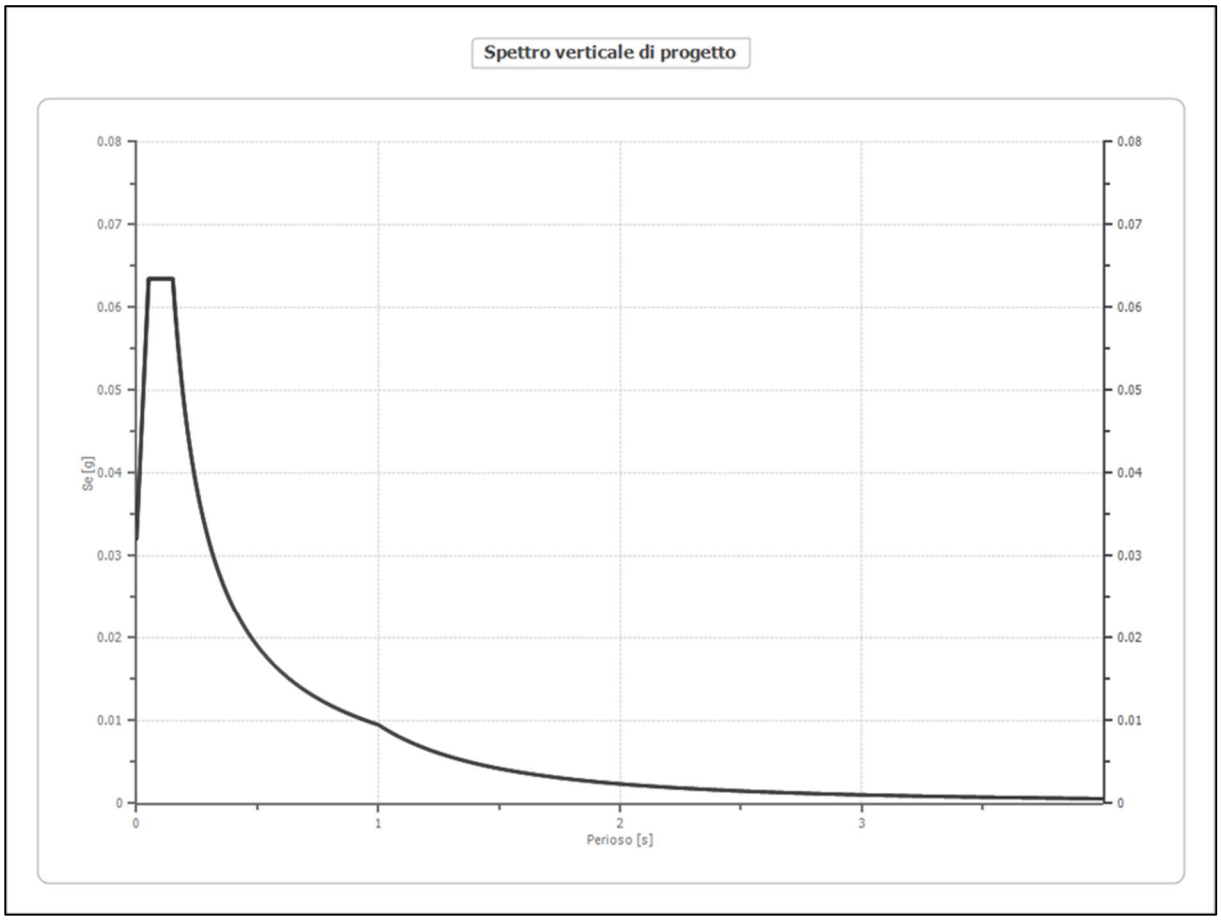
- **Profilo a max**

	0.0 [m]	1.0 [m]	3.0 [m]	5.0 [m]	8.0 [m]	12.0 [m]	15.0 [m]	19.0 [m]	27.0 [m]	35.0 [m]	37.0 [m]	50.5 [m]	53.5 [m]	57.5 [m]	60.5 [m]	77.0 [m]	84.0 [m]
000342xa_record [g]	0.146	0.144	0.138	0.096	0.117	0.108	0.103	0.097	0.102	0.117	0.127	0.114	0.115	0.115	0.109	0.094	0.197
000368xa_record [g]	0.331	0.330	0.324	0.299	0.182	0.209	0.203	0.187	0.174	0.146	0.135	0.125	0.121	0.114	0.108	0.093	0.199
000949xa_record [g]	0.283	0.282	0.275	0.258	0.205	0.203	0.181	0.148	0.117	0.123	0.140	0.134	0.128	0.115	0.106	0.099	0.205
001891ya_record [g]	0.235	0.232	0.217	0.144	0.178	0.200	0.185	0.157	0.118	0.123	0.132	0.129	0.124	0.116	0.112	0.099	0.204
004674xa_record [g]	0.334	0.332	0.317	0.285	0.204	0.241	0.248	0.241	0.199	0.152	0.138	0.135	0.133	0.136	0.136	0.110	0.201
006335ya_record [g]	0.319	0.318	0.311	0.281	0.263	0.220	0.184	0.177	0.171	0.146	0.139	0.148	0.139	0.126	0.118	0.083	0.195
007142ya_record [g]	0.249	0.248	0.241	0.219	0.234	0.237	0.238	0.202	0.151	0.156	0.175	0.145	0.134	0.121	0.118	0.090	0.219
media [g]	0.271	0.270	0.260	0.226	0.198	0.203	0.192	0.173	0.148	0.138	0.141	0.133	0.128	0.121	0.115	0.095	0.203
Dev. St. [g]	0.068	0.068	0.067	0.078	0.046	0.045	0.047	0.046	0.036	0.016	0.016	0.012	0.008	0.008	0.010	0.008	0.008



- **Spettro verticale di progetto**

Ag [g]	F0	Tc*	Fv	q	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
0.083	2.968	0.150	1.152	1.5	0.050	0.150	1.000	0.032	0.063


Spettro verticale di progetto
Se [g]
Perioso [s]
0.08
0.07
0.06
0.05
0.04
0.03
0.02
0.01
0
0
1
2
3

8. CONCLUSIONI

Con riferimento a quanto sopra riportato si può affermare che:

- Vista il carattere rilevante dell'opera in oggetto si è proceduto all'analisi della risposta sismica locale (RSL)
- L'esecuzione di una Risposta Sismica Locale consente di ottenere una valutazione dell'amplificazione locale più rigorosa dell'approccio semplificato.
- I punti fondamentali nella stima dell'azione sismica, sulla base di specifiche analisi di RSL, possono essere così schematizzati:
    - definizione dell'input sismico rappresentativo dell'azione sismica al tetto del bedrock sismico, da dove si presume che inizi l'amplificazione locale;
    - determinazione di un adeguato modello geologico e parametrizzazione degli strati
    - individuati;
    - analisi;
    - scelta e rappresentazione dei parametri di output
- La risposta sismica locale è stata calcolata tenendo conto di stratigrafie che individuano il bedrock sismico e sulla base del quale sono state eseguite le calcolazioni.
- I risultati ottenuti dalle diverse analisi eseguite ai diversi stati limite confermano sostanzialmente la validità di quanto indicato dalla normativa NTC 2018 quindi per i calcoli sismici si consigliano di prendere i valori degli spettri della normativa NTC.

NTC 2018 – Categoria C

	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se (0) [g]	Se (TB) [g]	S [-]
SLO	0,023	2,528	0,181	0,111	0,334	1,693	0,035	0,088	1,500
SLD	0,030	2,526	0,205	0,121	0,364	1,719	0,045	0,112	1,500
SLV	0,067	2,587	0,283	0,150	0,451	1,869	0,101	0,261	1,500
SLC	0,086	2,594	0,294	0,154	0,461	1,942	0,128	0,333	1,500

RSL III – Categoria C

	Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se (0) [g]	Se (TB) [g]	S
SLO	0,020	3,441879	--	0,075	0,224	1,678	0,020	0,067	0,849
SLD	0,027	2,804988	--	0,099	0,297	1,706	0,027	0,075	0,886
SLV	0,064	2,6294	--	0,144	0,432	1,854	0,064	0,167	0,48
SLC	0,083	2,967589	--	0,128	0,383	1,931	0,083	0,245	0,961